

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of :
Hidenobu HAMADA :
Serial No. NEW : **Attn: APPLICATION BRANCH**
Filed November 19, 2003 : Attorney Docket No. 2003_1676A

OPTICAL DEMULTIPLEXER, OPTICAL
MULTI-/DEMULTIPLEXER, AND OPTICAL
DEVICE

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

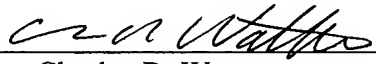
Sir:

Applicant in the above-entitled application hereby claims the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 2002-348661, filed November 29, 2002, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Hidenobu HAMADA

By 
Charles R. Watts
Registration No. 33,142
Attorney for Applicant

CRW/asd
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
November 19, 2003

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年11月29日

出願番号
Application Number:

特願2002-348661

[ST.10/C]:

[JP2002-348661]

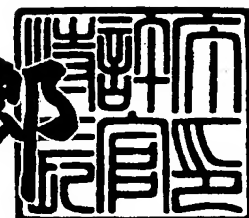
出願人
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2003年 7月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3051973

【書類名】 特許願

【整理番号】 2022040343

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/12
G02B 5/20

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式
会社内

【氏名】 浜田 英伸

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100098291

【弁理士】

【氏名又は名称】 小笠原 史朗

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 035367

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9405386

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光分波器および光合波器ならびにそれらを用いた光デバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに異なる二つの波長の光が波長多重されている入射光を分波するための光分波器であって、

前記入射光に含まれる第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、前記第 1 の波長の光量と、前記第 2 の波長の光量とを分離させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するような前記マルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

前記二つの波長の光量分離が発生する位置から、それぞれの光を出射させる二つの出射部とを備える、光分波器。

【請求項 2】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 3】 前記マルチモード伝播部は、各波長のそれぞれの出力端で、前記第 1 の波長の光量または前記第 2 の波長の光量の内、少なくともいずれか一方の光量が極値となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 2 に記載の光分波器。

【請求項 4】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 に記載の光分波器。

【請求項 5】 前記マルチモード伝播部は、各波長のそれぞれの出力端で、前記第 1 の波長の光量と前記第 2 の波長の光量とが互いに反転している極値となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 4 に記載の光分波器。

【請求項 6】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の出力端および前記第 2 の波長の出力端での消光比が 20 dB 以上となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 2 に記載の光分波器。

【請求項 7】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 2 に記載の光分波器。

【請求項 8】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、前記入力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 2 に記載の光分波器。

【請求項 9】 前記マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であり、前記入力位置は、前記二個のシングルモード導波路の一方の入力端であることを特徴とする、請求項 2 に記載の光分波器。

【請求項 10】 前記マルチモード伝播部は、

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 1 の光路長部と

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 2 の光路長部とを含み、

前記第 1 の光路長部の出力側からは、前記第 1 の波長の光が取り出され、

前記第 2 の光路長部の出力側からは、前記第 2 の波長の光が取り出され、

前記第 1 の光路長部の光路長と前記第 2 の光路長部の光路長とは、相異なることを特徴とする、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 11】 前記第 1 の光路長部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有し、

前記第 2 の光路長部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 10 に記載の光分波器。

【請求項 12】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、前記入力位置は

、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 1 0 に記載の光分波器。

【請求項 1 3】 前記マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 1 0 に記載の光分波器。

【請求項 1 4】 前記マルチモード伝播部は、

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長であり、かつ、

前記第 1 の波長または前記第 2 の波長の内、短い波長の方のマルチモードのみが伝播可能な第 1 のマルチモード領域部と、

前記第 1 のマルチモード領域部の光進行方向後部に存在し、前記第 1 の波長および前記第 2 の波長のマルチモードが伝搬可能な第 2 のマルチモード領域部を含む、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 1 5】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 1 4 に記載の光分波器。

【請求項 1 6】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、前記マルチモード導波路の入力側を矩形に欠くことによって、幅が狭くなっている前記第 1 のマルチモード領域部および幅が広がっている前記第 2 のマルチモード領域部を形成することを特徴とする、請求項 1 4 に記載の光分波器。

【請求項 1 7】 前記入力位置は、前記第 1 のマルチモード領域部の光軸中心と前記第 2 のマルチモード領域部の光軸中心とからずれていることを特徴とする、請求項 1 6 に記載の光分波器。

【請求項 1 8】 前記第 1 のマルチモード領域部は、二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

前記第 2 のマルチモード領域部は、二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

前記二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔は、前記二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔よりも狭いことを特徴とする、請求項 1 4 に記載の光分波器。

【請求項 1 9】 前記第 1 のマルチモード領域部の中心軸と前記第 2 のマルチモード領域部の中心軸とは、軸ズレしていることを特徴とする、請求項 1 4 に記載の光分波器。

【請求項 2 0】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長であり、かつ、光軸方向に幅が変化していることを特徴とする、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 2 1】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 2 0 に記載の光分波器。

【請求項 2 2】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の光分波器。

【請求項 2 3】 前記マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の光分波器。

【請求項 2 4】 さらに、前記第 1 の波長の光を出射するための前記出射部の出力端に配置されており、前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 1 の後段マルチモード伝播部と、

前記第 2 の波長の光を出射するための前記出射部の出力端に配置されており、前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 2 の後段マルチモード伝播部と、

前記第 1 の後段マルチモード伝播部によって分離される前記第 1 の波長の光を出射するための第 1 の後段出射部と、

前記第 2 の後段マルチモード伝播部によって分離される前記第 2 の波長の光を出射するための第 2 の後段出射部とを備える、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 2 5】 前記マルチモード伝播部は、電気光学材料で作製されており、

前記マルチモード伝播部に外部電界を印加する外部電界制御部をさらに備える、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 2 6】 前記外部電界制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられた一对の電極と、

前記一对の電極間電圧を制御する外部電圧制御部とを含む、請求項 2 5 に記載の光分波器。

【請求項 2 7】 前記マルチモード伝播部は、温度依存性を有する熱光学材料で作製されており、

前記マルチモード伝播部の温度を制御する外部温度制御部をさらに備える、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 2 8】 前記外部温度制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられた熱伝導部と、

前記熱伝導部を加熱および／または冷却して温度を制御する温度制御部とを含む、請求項 2 7 に記載の光分波器。

【請求項 2 9】 前記外部温度制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられたペルチェ素子と、

前記ペルチェ素子に電流を流して温度を制御する温度制御部とを含む、請求項 2 7 に記載の光分波器。

【請求項 3 0】 前記入射部は、前記マルチモード伝播部の入力側において光学的に結合している導波路であり、

各前記出射部は、前記マルチモード伝播部の出力側において光学的に結合している導波路であることを特徴とする、請求項 1 に記載の光分波器。

【請求項 3 1】 互いに異なる二つの波長の光を送受信するための光デバイスであって、

入射光に含まれる第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、前記第 1 の波長の光量と、前記第 2 の波長の光量とを分離させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するような前記マルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

前記二つの波長の光量分離が発生する位置から、それぞれの光を出射させる二つの出射部と、

一方の前記出射部の出力端に設けられており、前記第 1 の波長の光を受光する第 1 の受光部、または、前記第 1 の波長の光を発光する第 1 の発光部の内、少なくともいずれか一方と、

他方の前記出射部の出力端に設けられており、前記第 2 の波長の光を発光する発光部、または、前記発光部の背面に設けられており、前記第 2 の波長の光を受光する第 2 の受光部の内、少なくともいずれか一方とを備える、光デバイス。

【請求項 3 2】 互いに異なる n (n は自然数) 種類の波長の光が波長多重されている入射光を分波するための光分波器であって、

前記入射光に含まれる n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を分離させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するような前記マルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

前記 n 種類の波長の光量分離が発生する位置から、それぞれ光を出射させる n 個の出射部とを備える、光分波器。

【請求項 3 3】 前記マルチモード伝播部は、第 k ($k = 1, 2, \dots, n - 1$) 波長 λ_k の第 i ($i = 0, 1, \dots, n$) 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_k 、および第 $k + 1$ 波長 λ_{k+1} の第 i 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 2 に記載の光分波器。

【請求項 3 4】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、前記マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、前記入力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 3 3 に記載の光分波器。

【請求項 3 5】 前記マルチモード伝播路は、 n 個のシングルモード導波路で構成され、前記 n 個のシングルモード導波路の内、両端のシングルモード導波

路位置の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 3 3 に記載の光分波器。

【請求項 3 6】 前記 n 個のシングルモード導波路の間隔が等間隔であることを特徴とする、請求項 3 5 に記載の光分波器。

【請求項 3 7】 前記 n 種類の波長の間隔が等間隔であることを特徴とする、請求項 3 2 に記載の光分波器。

【請求項 3 8】 互いに異なる二つの波長の光を合波するための光合波器であって、

合波すべき第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、前記第 1 の波長の光量と、前記第 2 の波長の光量とを結合させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量結合が発生するような前記マルチモード伝播部の二つの入力位置にそれぞれの光を入射させる二つの入射部と、

前記二つの波長の光量結合が発生する位置から、合波された光を出射させる出射部とを備える、光合波器。

【請求項 3 9】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 4 0】 前記マルチモード伝播部は、前記合波された光を出射させる出射端から前記第 1 の波長および前記第 2 の波長の合波光を逆に入射した場合、各波長のそれぞれの入力端で、前記第 1 の波長の光量または前記第 2 の波長の光量の内、少なくともいずれか一方の光量が極値となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 9 に記載の光合波器。

【請求項 4 1】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 θ_1 と前記位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 4 0 に記載の光合波器。

【請求項 4 2】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の光量および前記第 2 の波長の光量が出力端で共に極大となって結合するような光路長を有す

ることを特徴とする、請求項 4 1 に記載の光合波器。

【請求項 4 3】 前記マルチモード伝播部は、前記合波された光を出射させる出射端から前記第 1 の波長および前記第 2 の波長の合波光を逆に入射した場合、前記第 1 の波長の入力端および前記第 2 の波長の入力端での消光比が 2 0 d B 以上となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 9 に記載の光合波器。

【請求項 4 4】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 3 9 に記載の光合波器。

【請求項 4 5】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、合波された光の出力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 3 9 に記載の光合波器。

【請求項 4 6】 前記マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 3 9 に記載の光合波器。

【請求項 4 7】 前記マルチモード伝播部は、

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長を有する第 1 の光路長部と

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長を有する第 2 の光路長部とを含み、

前記第 1 の光路長部の入力側からは、前記第 1 の波長の光が入射され、

前記第 2 の光路長部の入力側からは、前記第 2 の波長の光が入射され、

前記第 1 の光路長部の光路長と前記第 2 の光路長部の光路長とは、相異なることを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 4 8】 前記第 1 の光路長部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有し、

前記第 2 の光路長部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 4 7 に記載の光合波器。

【請求項 4 9】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であって、前記第 1 の光路長部の光軸水平方向の幅と前記第 2 の光路長部の光軸水平方向の幅とが異なっていることを特徴とする、請求項 4 7 に記載の光合波器。

【請求項 5 0】 前記マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 4 7 に記載の光合波器。

【請求項 5 1】 前記マルチモード伝播部は、

前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長であり、かつ、

前記第 1 の波長および前記第 2 の波長のマルチモードが伝搬可能な第 1 のマルチモード領域部と、

前記第 1 のマルチモード領域部の光進行方向後部に存在し、前記第 1 の波長または前記第 2 の波長の内、短い波長の方のマルチモードのみが伝播可能な第 2 のマルチモード領域部とを含む、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 5 2】 前記第 2 のマルチモード領域部の光軸垂直方向の幅の方が、前記第 1 のマルチモード領域部の光軸垂直方向の幅よりも小さいことを特徴とする、請求項 5 1 に記載の光合波器。

【請求項 5 3】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 5 1 に記載の光合波器。

【請求項 5 4】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、前記マルチモード導波路の出力側を矩形に欠くことによって、幅が広がっている前記第 1 のマルチモード領域部および幅が狭くなっている前記第 2

のマルチモード領域部を形成することを特徴とする、請求項 5 1 に記載の光分波器。

【請求項 5 5】 前記第 1 のマルチモード領域部は、二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

前記第 2 のマルチモード領域部は、二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

前記二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔は、前記二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔よりも広いことを特徴とする、請求項 5 1 に記載の光合波器。

【請求項 5 6】 前記第 1 のマルチモード領域部の中心軸と前記第 2 のマルチモード領域部の中心軸とは、軸ズレしていることを特徴とする、請求項 5 1 に記載の光合波器。

【請求項 5 7】 前記マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長であり、かつ、光軸方向に幅が変化していることを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 5 8】 前記マルチモード伝播部は、前記位相差 $\theta 1$ と前記位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 5 7 に記載の光合波器。

【請求項 5 9】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であることを特徴とする、請求項 5 7 に記載の光合波器。

【請求項 6 0】 前記マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 5 7 に記載の光合波器。

【請求項 6 1】 さらに、前記第 1 の波長の光を入射するための前記入射部の入力端に配置されており、前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 1 の前段マルチモード伝播部と、

前記第 2 の波長の光を入射するための前記入射部の入力端に配置されており、
前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 2 の前段マルチモード伝播部と、

前記第 1 の前段マルチモード伝播部の入力側において、前記第 1 の波長の光を入射するための第 1 の前段入射部と、

前記第 2 の前段マルチモード伝播部の入力側において、前記第 2 の波長の光を入射するための第 2 の前段入射部とを備える、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 6 2】 前記マルチモード伝播部は、電気光学材料で作製されており、

前記マルチモード伝播部に外部電界を印加する外部電界制御部をさらに備えることを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 6 3】 前記外部電界制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられた一対の電極と、

前記一対の電極間電圧を制御する外部電圧制御部とを含む、請求項 6 2 に記載の光合波器。

【請求項 6 4】 前記マルチモード伝播部は、温度依存性を有する熱光学材料で作製されており、

前記マルチモード伝播部の温度を制御する外部温度制御部をさらに備えることを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 6 5】 前記外部温度制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられた熱伝導部と、

前記熱伝導部を加熱および／または冷却して温度を制御する温度制御部とを含む、請求項 6 4 に記載の光合波器。

【請求項 6 6】 前記外部温度制御部は、

前記マルチモード伝播部の表面に設けられたペルチェ素子と、

前記ペルチェ素子に電流を流して温度を制御する温度制御部とを含む、請求項 6 4 に記載の光合波器。

【請求項 6 7】 各前記入射部は、前記マルチモード伝播部の入力側において、光学的に結合している導波路であり、

前記出射部は、前記マルチモード伝播部の出力側において、光学的に結合して

いる導波路であることを特徴とする、請求項 3 8 に記載の光合波器。

【請求項 6 8】 互いに異なる n (n は自然数) 種類の波長の光を合波するための光合波器であって、

合波すべき n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を結合させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量結合が発生するような前記マルチモード伝播部の n 個の入力位置にそれぞれ光を入射させる n 個の入射部と、

前記 n 個の波長の光量結合が発生する位置から、合波された光を出射させる出射部とを備える、光合波器。

【請求項 6 9】 前記マルチモード伝播部は、第 k ($k = 1, 2, \dots, n - 1$) 波長 λ_k の第 i ($i = 0, 1, \dots, n$) 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_k 、および第 $k + 1$ 波長 λ_{k+1} の第 i 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 6 8 に記載の光合波器。

【請求項 7 0】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、前記マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、合波された光の出力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 6 9 に記載の光合波器。

【請求項 7 1】 前記マルチモード導波路は、 n 個のシングルモード導波路で構成され、前記 n 個のシングルモード導波路の内、両端のシングルモード導波路位置の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 6 9 に記載の光合波器。

【請求項 7 2】 前記 n 個のシングルモード導波路の間隔が等間隔であることを特徴とする、請求項 7 1 に記載の光合波器。

【請求項 7 3】 前記 n 種類の波長の間隔が等間隔であることを特徴とする、請求項 6 8 に記載の光合波器。

【請求項 7 4】 波長多重されている n (n は自然数) 種類の波長の光を調整するための光デバイスであって、

n 種類の波長の光を分波する分波部と、

n 種類の波長の光を合波する合波部と、

前記分波部が分波する各波長の光を調整し、前記合波部へ入射させる n 個の調整部とを備え、

前記分波部は、前記入射光に含まれる n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を分離させる分波用マルチモード伝播部を含み、

前記合波部は、合波すべき n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を結合させる合波用マルチモード伝播部を含み、

前記分波用マルチモード伝播部および前記合波用マルチモード伝播部は、第 k ($k = 1, 2, \dots, n-1$) 波長 λ_k の第 i ($i = 0, 1, \dots, n$) 次モードと第 $i+1$ 次モードとの位相差 θ_k 、および第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} の第 i 次モードと第 $i+1$ 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする、光デバイス。

【請求項 7 5】 各前記調整器は、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを調整することを特徴とする、請求項 7 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 6】 さらに、外部制御部を備え、

前記外部制御部は、各前記調整器と通信可能で、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを外部から動的に調整することを特徴とする、請求項 7 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 7】 さらに、

外部制御部と、

前記合波用マルチモード伝播部の出力をモニターするモニター部とを備え、

前記外部制御部は、各前記調整器およびモニター部と通信可能で、前記合波用マルチモード伝播部の出力状態をフィードバックして、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを外部から動的に調整することを特徴とする、請求項 7 4 に記載の光デバイス。

【請求項 7 8】 波長多重されている二つの波長の光の内、一つの波長の光を取り出して、再度合波するアドドロップ機能を有する光デバイスであって、

二つの波長の光を分波する分波器と、

二つの波長の光を合波する合波器と、

前記分波器の出力側に接続されており、多重光に含まれる第 1 の波長の光を前記合波器に中継する中継導波路と、

前記分波器の出力側に接続されており、多重光に含まれる第 2 の波長の光を外部へ誘導するドロップ導波路と、

前記ドロップ導波路が外部に誘導した第 2 の波長の光を、再び内部に誘導して前記合波器に中継するためのアド導波路とを備え、

前記分波器は、前記第 1 の波長の光および前記第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、前記第 1 の波長の光量と、前記第 2 の波長の光量とを分離させる分波用マルチモード伝播部を含み、

前記合波器は、前記第 1 の波長の光および前記第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、前記第 1 の波長の光量と、前記第 2 の波長の光量とを結合させる合波用マルチモード伝播部を含み、

前記分波用マルチモード伝播部および前記合波用マルチモード伝播部は、前記第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および前記第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする、光デバイス。

【請求項 7 9】 互いに異なる $2n$ (n は自然数) 種類の波長 ($\lambda_1, \dots, \lambda_{2n}$) の光が波長多重されている入射光を二つの波長群に分波するための光分波器であって、

前記入射光に含まれる $2n$ 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、前記二つの波長群の光量を二つに分離させるマルチモード伝播部と、

前記マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するような前記マルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

前記二つの波長群の光量分離が発生する位置から、それぞれ光を出射させる 2 個の出射部とを備え、

前記二つの波長群の内、一つは、奇数番の波長の光が波長多重されており、もう一つは、偶数番の波長の光が波長多重されていることを特徴とする、光分波器

【請求項 8 0】 前記マルチモード伝播部は、第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 λ_{2k} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、前記位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする、請求項 7 9 に記載の光分波器。

【請求項 8 1】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、前記入力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 8 0 に記載の光分波器

【請求項 8 2】 前記マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 8 0 に記載の光分波器。

【請求項 8 3】 前記マルチモード伝播部は、
第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 λ_{2k} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、前記位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 1 の光路長部と、

第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 (λ_{2k}) の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、前記位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 2 の光路長部とを含み、

前記第 1 の光路長部の出力側からは、奇数番の波長群が取り出され、

前記第 2 の光路長部の出力側からは、偶数番の波長群が取り出され、

前記第 1 の光路長部の光路長と前記第 2 の光路長部の光路長とは、相異なるこ

とを特徴とする、請求項 7 9 に記載の光分波器。

【請求項 8 4】 前記マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、前記入力位置は、前記光軸から軸ズレしていることを特徴とする、請求項 8 3 に記載の光分波器。

【請求項 8 5】 前記マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする、請求項 8 3 に記載の光分波器。

【請求項 8 6】 前記 n 種類の波長の間隔が等間隔であることを特徴とする、請求項 7 9 に記載の光分波器。

【請求項 8 7】 前記マルチモード伝播部の屈折率と波長との関係が、少なくとも n 種類の波長領域において線形であることを特徴とする、請求項 7 9 に記載の光分波器。

【請求項 8 8】 n は、 $n = 4k$ (k 自然数) となるような数であって、

さらに、前記奇数番の波長群を導波するための前記出力導波路の出力端に光学的に結合しており、前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 1 の後段マルチモード伝播部と、

前記偶数番の波長群を導波するための前記出力導波路の出力端に光学的に結合しており、前記マルチモード伝播部と同特性を有する第 2 の後段マルチモード伝播部と、

前記第 1 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 3$ 番の波長群を出射する第 1 の後段出射部と、

前記第 1 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 1$ 番の波長群を出射する第 2 の後段出射部と、

前記第 2 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 2$ 番の波長群を出射する第 3 の後段出射部と、

前記第 2 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k$ 番の波長群を出射する第 1 の後段出射部とを備える、請求項 7 9 に記載の光分波器。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重通信に用いられる光分波器および光合波器に関し、より特定のには、マルチモード干渉（MMI：Multi-Mode Interference）を利用した光分波器および光合波器ならびにそれらを用いた光デバイスに関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

光通信の分野においては、通信容量を拡大するために、複数の信号を異なる波長の光信号に乗せて多重し、一本の光ファイバーで伝送する波長分割多重伝送（Wavelength Division Multiplexing：以下、WDMと略称する）方式と呼ばれる方式が検討されている。WDM方式においては、異なる波長の光を分波する光分波器、および異なる波長の光を合波する光合波器が重要な役割を果たす。

【 0 0 0 3 】

従来より、シリコン基板上にY分岐部を有する光導波路と、当該Y分岐部を横断するように形成された溝と、当該溝中に挿入された誘電体多層膜フィルターとで構成される導波路型のWDM用光分波器および光合波器があった（例えば、特許文献1参照）。

【 0 0 0 4 】

また、従来、2個の入出力端と、2個の2次元光導波路と、長さの異なる長い複数の3次元光導波路とで構成されるアレー導波路回折格子（Arrayed Waveguide Grating：以下、AWGと略称する）を用いた導波路型のWDM用光分波器および光合波器も存在する（例えば、特許文献2参照）。

【 0 0 0 5 】

その他、2個のMMI型カプラと、2本の並行シングルモードとで構成された2波用の合分波器を直列接続して複数波長の光を分波および合波する光合分波器も存在する（例えば、特許文献3参照）。

【0006】

【特許文献1】

特開昭63-33707号公報（第1-4頁、第3図）

【特許文献2】

特開平2-244105号公報（第1-6頁、第1図）

【特許文献3】

特開2002-286952号公報（第2-10頁、第16図）

【特許文献4】

特開平8-201648号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

特許文献1に記載の光分波器および光合波器には、導波路だけでなく、誘電体多層膜フィルタという別部品が必要となる。さらに、当該光分波器および光合波器の製造工程には、導波路中に溝を作製する工程と、当該溝に誘電体多層膜フィルタを精度良く挿入する工程とが必要である。また、当該光分波器および光合波器は、誘電多層膜フィルタにおいて、異なる波長の光を反射または透過させることによって、光を分離または合波する。したがって、分離されたの光を受光する部品（たとえば、フォトダイオード等）、および合波光を発光する部品（たとえば、レーザーダイオード等）を光分波器および光合波器の両端に置く必要がある。そのため、光分波器または光合波器と電気回路とをモジュール化する場合、導波路の光回路を隔てて電気回路を形成せねばならず、当該モジュールが複雑な構造となる。

【0008】

また、特許文献2に記載の光分波器および光合波器は、8波以上の高密度WDM用に開発されているため、精度が良いが、高価である。そのため、2～4波長程度の低密度WDM用として、当該光分波器および光合波器を使用するのは、特許文献1に記載の光合分波器を使用する場合に比べコスト高となる。

【0009】

また、特許文献3に記載の光分波器および光合波器は、2個のMMI型カブラ

と 2 本の並行シングルモードとで構成された 2 波用の光分波・合波器を直列接続して複数波長の光を分波および合波する構成であるので、構造が複雑となり、かつ光路長を大きくとる必要があるので、小型化が困難であった。また、光路長を長くすることによって、光のロスも多く発生する。

【 0 0 1 0 】

それゆえに、本発明の目的は、2～4 波長程度の低密度 WDM 用に構造がシンプルで、低価格化が可能な光分波器および光合波器を提供することである。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

第 1 の発明は、互いに異なる二つの波長の光が波長多重されている入射光を分波するための光分波器であって、

入射光に含まれる第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、第 1 の波長の光量と、第 2 の波長の光量とを分離させるマルチモード伝播部と、

マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するようなマルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

二つの波長の光量分離が発生する位置から、それぞれの光を出射させる二つの出射部とを備える。

【 0 0 1 2 】

上記第 1 の発明によれば、マルチモード伝播部内部のモード干渉によって、内部で光量分布を変化させ、各波長の光量を分離させることによって、各波長の光を出射させるので、誘電体多層膜フィルタのような部品を使用せずとも、導波路で構成されるマルチモード伝播部を用いる簡単な構造で低価格な光分波器を提供することが可能となる。

【 0 0 1 3 】

第 2 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

上記第2の発明によれば、マルチモード伝播部において0次モードと1次モードとがモード干渉し、光量が光進行横方向に上下交互に移動する。モード干渉の波長分散、すなわち、光量変化の伝播定数の波長依存性により、二つの波長間で位相差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となる光路長では、二つの波長の光量分布がマルチモード伝播部の中心線に対して大体対称となる。この光量が大体分離された位置から、各波長を出射すれば、容易に波長を分離することが可能となる。したがって、誘電体多層膜フィルタのような余計な部品も必要なく、導波路で構成されるマルチモード伝播部のみの簡単な構成で分波器・合波器を実現することができる。この光量分離の原理は、第10、14、20の発明においても同様である。また、光の可逆性より、この原理は、光合波器にも簡単に応用することができ、第38、39、47、51、47の発明が生まれることとなる。

【 0 0 1 5 】

第3の発明は、第2の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、各波長のそれぞれの出力端で、第1の波長の光量または第2の波長の光量の内、少なくともいずれか一方の光量が極値となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

上記第3の発明によれば、各波長のそれぞれの出力端で、第1の波長の光量または第2の波長の光量の内、少なくともいずれか一方の光量が極値となるので、各出力での消光比を高めることが可能となる。

【 0 0 1 7 】

第4の発明は、第3の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

上記第4の発明によれば、光路長が π の整数倍となるので、各波長の出力側で光量が完全に分離されることとなり、より精度の良い光分波が可能となる。

【 0 0 1 9 】

第 5 の発明は、第 4 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、各波長のそれぞれの出力端で、第 1 の波長の光量と第 2 の波長の光量とが互いに反転している極値となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

上記第 5 の発明によれば、第 1 の波長の出力端で、第 1 の波長の光量が極大となり、第 2 の波長の光量が極小となる。また、第 2 の波長の出力端で、第 1 の波長の光量が極小となり、第 2 の波長の光量が極大となる。したがって、より高い消光比を得ることが可能となる。

【 0 0 2 1 】

第 6 の発明は、第 2 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、第 1 の波長の出力端および第 2 の波長の出力端での消光比が 2 0 d B 以上となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

上記第 6 の発明によれば、実用的に問題のない消光比を得ることが可能となる。

【 0 0 2 3 】

第 7 の発明は、第 2 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

上記第 7 の発明によれば、光路長が π の整数倍となるので、各波長の出力側で光量が完全に分離されることとなり、より精度の良い光分波が可能となる。

【 0 0 2 5 】

第 8 の発明は、第 2 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、入力位置は、光軸から軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

上記第 8 の発明によれば、マルチモード伝播部が一個のマルチモード導波路で構成されるので、光分波器が簡単な構成となる。

【 0 0 2 7 】

第 9 の発明は、第 2 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であり、入力位置は、二個のシングルモード導波路の一方の入力端であることを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

上記第 9 の発明によれば、マルチモード伝播部が二個のシングルモード導波路で構成されるので、光分波器の構成が簡単となる。

【 0 0 2 9 】

第 1 0 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は

第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 1 の光路長部と、

第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 2 の光路長部とを含み、

第 1 の光路長部の出力側からは、第 1 の波長の光が取り出され、

第 2 の光路長部の出力側からは、第 2 の波長の光が取り出され、

第 1 の光路長部の光路長と第 2 の光路長部の光路長とは、相異なることを特徴とする。

【 0 0 3 0 】

上記第 1 0 の発明によれば、光路長の異なる第 1 の光路長部と第 2 の光路長部とを設けることによって、光量が分離しているから光を出射させることができることとなるので、より小さな光路長で光を出射させることができ、光分波器の小型化を図ることが可能となる。

【 0 0 3 1 】

第 1 1 の発明は、第 1 0 の発明に従属する発明であって、第 1 の光路長部は、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有し、

第 2 の光路長部は、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 3 2 】

上記第 1 1 の発明による効果は、第 7 の発明と同様である。

【 0 0 3 3 】

第 1 2 の発明は、第 1 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、入力位置は、光軸から軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

上記第 1 2 の発明による効果は、第 8 の発明と同様である。

【 0 0 3 5 】

第 1 3 の発明は、第 1 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 0 3 6 】

上記第 1 3 の発明による効果は、第 9 の発明と同様である。

【 0 0 3 7 】

第 1 4 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は

第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長であり、かつ、

第 1 の波長または第 2 の波長の内、短い波長の方のマルチモードのみが伝播可能な第 1 のマルチモード領域部と、

第 1 のマルチモード領域部の光進行方向後部に存在し、第 1 の波長および第 2 の波長のマルチモードが伝搬可能な第 2 のマルチモード領域部とを含む。

【 0 0 3 8 】

上記第 1 4 の発明によれば、第 1 のマルチモード領域部で短い波長の方のモード干渉を先に発生させることによって、最終的な光量変動位相差に必要な光路長

を小さくすることができる。したがって、光分波器の小型化を図ることが可能となる。

【 0 0 3 9 】

第 1 5 の発明は、第 1 4 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 4 0 】

上記第 1 5 の発明による効果は、第 7 の発明と同様である。

【 0 0 4 1 】

第 1 6 の発明は、第 1 4 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、マルチモード導波路の入力側を矩形に欠くことによって、幅が狭くなっている第 1 のマルチモード領域部および幅が広がっている第 2 のマルチモード領域部を形成することを特徴とする。

【 0 0 4 2 】

上記第 1 6 の発明によれば、幅が狭くなっている領域で、短い方の波長のモード干渉を進めておくことができるので、より光分波器の小型化が可能となる。

【 0 0 4 3 】

第 1 7 の発明は、第 1 6 の発明に従属する発明であって、第 1 のマルチモード領域部の光軸中心と第 2 のマルチモード領域部の光軸中心とは、ずれていることを特徴とする。

【 0 0 4 4 】

上記第 1 7 の発明によれば、最終的な光量変動位相差に必要な光路長を小さくすることが可能となる。

【 0 0 4 5 】

第 1 8 の発明は、第 1 4 の発明に従属する発明であって、第 1 のマルチモード領域部は、二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

第 2 のマルチモード領域部は、二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路で構成され、

二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔は

、二個の後段マルチモード領域用シングルモード導波路が配置されている間隔よりも狭いことを特徴とする。

【 0 0 4 6 】

上記第 1 8 の発明によれば、二個の前段マルチモード領域用シングルモード導波路で、短い方の波長のモード干渉を進めておくことが可能となるので、より光分波器の小型化を図ることが可能となる。

【 0 0 4 7 】

第 1 9 の発明は、第 1 4 の発明に従属する発明であって、第 1 のマルチモード領域部の中心軸と第 2 のマルチモード領域部の中心軸とは、軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 4 8 】

上記第 1 9 の発明によれば、最終的な光量変動位相差に必要な光路長を小さくすることが可能となる。

【 0 0 4 9 】

第 2 0 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 1$ 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 $\theta 2$ について、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長であり、かつ、光軸方向に幅が変化していることを特徴とする。

【 0 0 5 0 】

上記第 2 0 の発明によれば、光軸方向に幅が変化しているので、短い波長の方のマルチモード干渉を先に進めておくことができるので、より光分波器の小型化を図ることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

第 2 1 の発明は、第 2 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、位相差 $\theta 1$ と位相差 $\theta 2$ との差が π の整数倍となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 5 2 】

上記第 2 1 の発明による効果は、第 7 の発明と同様である。

【 0 0 5 3 】

第 2 2 の発明は、第 2 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 0 5 4 】

上記第 2 2 の発明による効果は、第 8 の発明と同様である。

【 0 0 5 5 】

第 2 3 の発明は、第 2 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 0 5 6 】

上記第 2 3 の発明による効果は、第 9 の発明と同様である。

【 0 0 5 7 】

第 2 4 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、さらに、第 1 の波長の光を出射するための出射部の出力端に配置されており、マルチモード伝播部と同特性を有する第 1 の後段マルチモード伝播部と、

第 2 の波長の光を出射するための出射部の出力端に配置されており、マルチモード伝播部と同特性を有する第 2 の後段マルチモード伝播部と、

第 1 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 1 の波長の光を出射するための第 1 の後段出射部と、

第 2 の後段マルチモード伝播部によって分離される第 2 の波長の光を出射するための第 2 の後段出射部とを備える。

【 0 0 5 8 】

上記第 2 4 の発明によれば、二段にマルチモード伝播部を設けることによって、より各波長を分離することができるので、消光比をより高めることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

第 2 5 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、電気光学材料で作製されており、

マルチモード伝播部に外部電界を印加する外部電界制御部をさらに備える。

【 0 0 6 0 】

上記第 2 5 の発明によれば、マルチモード伝播部の屈折率等を動的に変化させることができるので、消光比を動的に制御することができる光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 6 1 】

第 2 6 の発明は、第 2 5 の発明に従属する発明であって、外部電界制御部は、マルチモード伝播部の表面に設けられた一対の電極と、一対の電極間電圧を制御する外部電圧制御部とを含む。

【 0 0 6 2 】

上記第 2 6 の発明によれば、簡単な構成で、消光比を動的に制御することができる光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 6 3 】

第 2 7 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、温度依存性を有する熱光学材料で作製されており、マルチモード伝播部の温度を制御する外部温度制御部をさらに備える。

【 0 0 6 4 】

上記第 2 7 の発明によれば、マルチモード伝播部の屈折率等を動的に変化させることができるので、消光比を動的に制御することができる光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 6 5 】

第 2 8 の発明は、第 2 7 の発明に従属する発明であって、外部温度制御部は、マルチモード伝播部の表面に設けられた熱伝導部と、熱伝導部を加熱および／または冷却して温度を制御する温度制御部とを含む。

【 0 0 6 6 】

上記第 2 8 の発明によれば、簡単な構成で、消光比を動的に制御することができる光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 6 7 】

第 2 9 の発明は、第 2 7 の発明に従属する発明であって、外部温度制御部は、マルチモード伝播部の表面に設けられたペルチェ素子と、ペルチェ素子に電流を流して温度を制御する温度制御部とを含む。

【 0 0 6 8 】

上記第 2 9 の発明によれば、簡単な構成で、消光比を動的に制御することができる光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 6 9 】

第 3 0 の発明は、第 1 の発明に従属する発明であって、入射部は、マルチモード伝播部の入力側において光学的に結合している導波路であり、

各出射部は、マルチモード伝播部の出力側において光学的に結合している導波路であることを特徴とする。

【 0 0 7 0 】

上記第 3 0 の発明によれば、入射部および出射部に導波路を用いるので、簡単な構成の光分波器が提供されることとなる。

【 0 0 7 1 】

第 3 1 の発明は、互いに異なる二つの波長の光を送受信するための光デバイスであって、

入射光に含まれる第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、第 1 の波長の光量と、第 2 の波長の光量とを分離させるマルチモード伝播部と、

マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するようなマルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

二つの波長の光量分離が発生する位置から、それぞれの光を出射させる二つの出射部と、

一方の出射部の出力端に設けられており、第 1 の波長の光を受光する第 1 の受光部、または、第 1 の波長の光を発光する第 1 の発光部の内、少なくともいずれか一方と、

他方の出射部の出力端に設けられており、第 2 の波長の光を発光する発光部、または、発光部の背面に設けられており、第 2 の波長の光を受光する第 2 の受光

部の内、少なくともいずれか一方とを備える。

【 0 0 7 2 】

上記第 3 1 の発明によれば、光回路と電気回路とを一体化し、光分波を行って受信すると共に、光を送信することができる光デバイスが提供されることとなる。

【 0 0 7 3 】

第 3 2 の発明は、互いに異なる n (n は自然数) 種類の波長の光が波長多重されている入射光を分波するための光分波器であって、

入射光に含まれる n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を分離させるマルチモード伝播部と、

マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するようなマルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

n 種類の波長の光量分離が発生する位置から、それぞれ光を出射させる n 個の出射部とを備える。

【 0 0 7 4 】

上記第 3 2 の発明によれば、マルチモード伝播部内部のモード干渉によって、内部で光量分布を変化させ、各波長の光量を分離させることによって、各波長の光を出射させるので、誘電体多層膜フィルタのような部品を使用せずとも、導波路で構成されるマルチモード伝播部を用いる簡単な構成で光分波器を提供することが可能となる。

【 0 0 7 5 】

第 3 3 の発明は、第 3 2 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、第 k ($k = 1, 2, \dots, n - 1$) 波長 λ_k の第 i ($i = 0, 1, \dots, n$) 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_k 、および第 $k + 1$ 波長 λ_{k+1} の第 i 次モードと第 $i + 1$ 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が π の整数倍 $\pm \pi / 2$ となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 7 6 】

上記第 3 3 の発明によれば、各波長の光量分離を確実に行うことができる光分波器を提供することが可能となる。

【 0 0 7 7 】

第 3 4 の発明は、第 3 3 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、入力位置は、光軸から軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 7 8 】

上記第 3 4 の発明による効果は、第 8 の発明と同様である。

【 0 0 7 9 】

第 3 5 の発明は、第 3 3 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播路は、 n 個のシングルモード導波路で構成され、 n 個のシングルモード導波路の内、両端のシングルモード導波路位置の対称軸が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 0 8 0 】

上記第 3 5 の発明による効果は、第 9 の発明と同様である。

【 0 0 8 1 】

第 3 6 の発明は、第 3 5 の発明に従属する発明であって、 n 個のシングルモード導波路の間隔が等間隔であることを特徴とする。

【 0 0 8 2 】

上記第 3 6 の発明によれば、マルチモード伝播部の構造が簡単となる。

【 0 0 8 3 】

第 3 7 の発明は、第 3 2 の発明に従属する発明であって、 n 種類の波長の間隔が等間隔であることを特徴とする。

【 0 0 8 4 】

第 3 8 ～第 7 3 の発明は、上記第 1 ～第 3 7 の発明を光合波器に適用したものである。

【 0 0 8 5 】

第 7 4 の発明は、波長多重されている n (n は自然数) 種類の波長の光を調整するための光デバイスであって、

n 種類の波長の光を分波する分波部と、

n 種類の波長の光を合波する合波部と、

分波部が分波する各波長の光を調整し、合波部へ入射させる n 個の調整部とを備え、

分波部は、入射光に含まれる n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を分離させる分波用マルチモード伝播部を含み、

合波部は、合波すべき n 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、各波長の光量を結合させる合波用マルチモード伝播部を含み、

分波用マルチモード伝播部および合波用マルチモード伝播部は、第 k ($k = 1, 2, \dots, n-1$) 波長 λ_k の第 i ($i = 0, 1, \dots, n$) 次モードと第 $i+1$ 次モードとの位相差 θ_k 、および第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} の第 i 次モードと第 $i+1$ 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする。

【0086】

上記第74の発明によれば、波長多重されている光を各波長毎に調整することが可能となり、分波部および合波部の構成が簡単となる。

【0087】

第75の発明は、第74の発明に従属する発明であって、各調整器は、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを調整することを特徴とする。

【0088】

第76の発明は、第74の発明に従属する発明であって、さらに、外部制御部を備え、

外部制御部は、各調整器と通信可能で、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを外部から動的に調整することを特徴とする。

【0089】

第77の発明は、第74の発明に従属する発明であって、さらに、

外部制御部と、

合波用マルチモード伝播部の出力をモニターするモニター部とを備え、

外部制御部は、各調整器およびモニター部と通信可能で、合波用マルチモード伝播部の出力状態をフィードバックして、各波長の光のゲイン、位相または偏光状態の内、少なくとも一つを外部から動的に調整することを特徴とする。

【 0 0 9 0 】

第 7 8 の発明は、波長多重されている二つの波長の光の内、一つの波長の光を取り出して、再度合波するアドドロップ機能を有する光デバイスであって、

二つの波長の光を分波する分波器と、

二つの波長の光を合波する合波器と、

分波器の出力側に接続されており、多重光に含まれる第 1 の波長の光を合波器に中継する中継導波路と、

分波器の出力側に接続されており、多重光に含まれる第 2 の波長の光を外部へ誘導するドロップ導波路と、

ドロップ導波路が外部に誘導した第 2 の波長の光を、再び内部に誘導して合波器に中継するためのアド導波路とを備え、

分波器は、第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、第 1 の波長の光量と、第 2 の波長の光量とを分離させる分波用マルチモード伝播部を含み、

合波器は、第 1 の波長の光および第 2 の波長の光のマルチモード伝播が可能で、内部でのモード干渉によって、第 1 の波長の光量と、第 2 の波長の光量とを結合させる合波用マルチモード伝播部を含み、

分波用マルチモード伝播部および合波用マルチモード伝播部は、第 1 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および第 2 の波長の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 9 1 】

上記第 7 8 の発明によれば、簡単な構成でアドドロップ機能を有する光デバイスを提供することが可能となる。

【 0 0 9 2 】

第 7 9 の発明は、互いに異なる $2n$ (n は自然数) 種類の波長 ($\lambda_1, \dots, \lambda$

$2n$) の光が波長多重されている入射光を二つの波長群に分波するための光分波器であって、

入射光に含まれる $2n$ 種類の波長のマルチモード伝播が可能で、内部での各波長のモード干渉によって、二つの波長群の光量を二つに分離させるマルチモード伝播部と、

マルチモード伝播部の内部で光量分離が発生するようなマルチモード伝播部の入力位置に光を入射させる入射部と、

二つの波長群の光量分離が発生する位置から、それぞれ光を出射させる 2 個の出射部とを備え、

二つの波長群の内、一つは、奇数番の波長の光が波長多重されており、もう一つは、偶数番の波長の光が波長多重されていることを特徴とする。

【 0 0 9 3 】

上記第 7 9 の発明によれば、簡単な構成で、奇数番の波長群と偶数番の波長群とを分離する WDM 用インターリーバ機能を有する光分波器を提供することが可能となる。

【 0 0 9 4 】

第 8 0 の発明は、第 7 9 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 λ_{2k} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有することを特徴とする。

【 0 0 9 5 】

第 8 1 の発明は、第 8 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、入力位置は、光軸から軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 9 6 】

第 8 2 の発明は、第 8 0 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 0 9 7 】

第 8 3 の発明は、第 7 9 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、

第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 λ_{2k} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 1 の光路長部と、

第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots, n$) 波長 λ_{2k-1} の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 (λ_{2k}) の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との差が π の整数倍 $\pm \pi/2$ となるような光路長を有する第 2 の光路長部とを含み、

第 1 の光路長部の出力側からは、奇数番の波長群が取り出され、

第 2 の光路長部の出力側からは、偶数番の波長群が取り出され、

第 1 の光路長部の光路長と第 2 の光路長部の光路長とは、相異なることを特徴とする。

【 0 0 9 8 】

第 8 4 の発明は、第 8 3 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、一個のマルチモード導波路で構成され、当該マルチモード導波路の中心線が光軸中心であり、入力位置は、光軸から軸ズレしていることを特徴とする。

【 0 0 9 9 】

第 8 5 の発明は、第 8 3 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部は、長さの異なる二個のシングルモード導波路で構成され、当該二個のシングルモード導波路の対称軸が光軸中心であることを特徴とする。

【 0 1 0 0 】

第 8 6 の発明は、第 7 9 の発明に従属する発明であって、 n 種類の波長の間隔が等間隔であることを特徴とする。

【 0 1 0 1 】

第 8 7 の発明は、第 7 9 の発明に従属する発明であって、マルチモード伝播部の屈折率と波長との関係が、少なくとも n 種類の波長領域において線形であるこ

とを特徴とする。

【0102】

第88の発明は、第79の発明に従属する発明であって、 n は、 $n = 4k$ (k 自然数) となるような数であって、

さらに、奇数番の波長群を導波するための出力導波路の出力端に光学的に結合しており、マルチモード伝播部と同特性を有する第1の後段マルチモード伝播部と、

偶数番の波長群を導波するための出力導波路の出力端に光学的に結合しており、マルチモード伝播部と同特性を有する第2の後段マルチモード伝播部と、

第1の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 3$ 番の波長群を出射する第1の後段出射部と、

第1の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 1$ 番の波長群を出射する第2の後段出射部と、

第2の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k - 2$ 番の波長群を出射する第3の後段出射部と、

第2の後段マルチモード伝播部によって分離される第 $4k$ 番の波長群を出射する第1の後段出射部とを備える。

【0103】

上記第88の発明によれば、波長多重光を4種類の波長群に分離することができる光分波器を提供することが可能となる。

【0104】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る光分波器100aの構成概要図である。なお、図1では、伝搬する光の振る舞いが分かるように、導波路中を伝播する光の導波モード（以下、単に、モードという）を模式的に示している。

【0105】

図1において、実線で示す波線は、波長 $1.30\mu\text{m}$ のモードを示す。点線で

示す波線は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ のモードを示す。図面上、何次のモードを示すかは、波線の形および引き出し線を用いた記載によって明確にする。なお、実線および点線が記載されている導波路上における位置は、当該位置でのモードを正確に示しているものではない。したがって、図面に記載した実線および点線が、導波路上のどの位置でのモードを示すものであるのかが分かるように、図面上では、どの位置での導波モードを示すものであるかも明記する。たとえば、図 1 において、マルチモード導波路 102a の入射端での波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードについては、図面上、「 $1.30\ \mu\text{m}$ 光入射端 0 次モード」と記す。特に断らない限り、その他の実施形態においても、上記のようにして記載する。

【0106】

図 1 において、光分波器 100a は、シングルモード入力導波路 101a と、マルチモード導波路 102a と、第 1 のシングルモード出力導波路 103a と、第 2 のシングルモード出力導波路 104a と、基板 106a と、基板 106a に穿孔されている V 溝 105a, 115a, 125a とを備える。

【0107】

マルチモード導波路 102a は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が、ほぼ π の整数倍となる光路長を有する。この光路長の根拠については、後で詳しく説明する。

【0108】

シングルモード入力導波路 101a は、マルチモード導波路 102a の光軸を示す中心線（以下、同様）112a から軸ズレした位置で、マルチモード導波路 102a の入力側と光学的に結合している。

【0109】

第 1 のシングルモード出力導波路 103a と第 2 のシングルモード出力導波路 104a とは、マルチモード導波路 102a の中心線 112a を中心として反対側の位置で、マルチモード導波路 102a の出力側と光学的に結合している。第 1 のシングルモード出力導波路 103a および第 2 のシングルモード出力導波路 104a は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の各波長が、それぞれ第

2のシングルモード出力導波路104aおよび第1のシングルモード導波路103aと結合しない距離まで各波長の光を誘導するように、基板106a上に配置されている。

【0110】

基板106aは、シングルモード入力導波路101a、マルチモード導波路102a、第1のシングルモード出力導波路103aおよび第2のシングルモード出力導波路104aを固定するための基板である。

【0111】

V溝105aは、シングルモード入力光ファイバ7をシングルモード入力導波路101の入力端に接続するために、基板106aに穿孔された位置決め用の溝である。V溝115aは、第1のシングルモード出力光ファイバ8を第1のシングルモード出力導波路3の出力端に接続するために、基板106aに穿孔された位置決め用の溝である。V溝125aは、第2のシングルモード出力光ファイバ9を第2のシングルモード出力導波路104aの出力端に接続するために、基板6に穿孔された位置決め用の溝である。

【0112】

以下、マルチモードであると特に断らなかった場合、導波路および光ファイバは、シングルモードであるとする。したがって、シングルモード入力導波路101a、第1のシングルモード出力導波路103a、第2のシングルモード出力導波路104a、シングルモード入力光ファイバ7、第1のシングルモード出力光ファイバ8、および第2のシングルモード出力光ファイバ9は、単に、入力導波路101a、第1の出力導波路103a、第2の出力導波路104a、入力光ファイバ7、第1の出力光ファイバ8、および第2の出力光ファイバ9と呼ぶことにする。

【0113】

図2は、光分波器100aにおいて、 $1.30\mu\text{m}$ の光と $1.55\mu\text{m}$ の光とが分離する様子を示すBPM (Beam Propagation Method) によるシミュレーション結果である。以下、図1および図2を参照しながら、光分波器100aにおける光の振る舞いを簡単に説明する。

【 0 1 1 4 】

ただし、図 2 の BPM のシミュレーションに使用した導波路寸法は、マルチモード導波路長 L_m : 約 $6550\ \mu\text{m}$ 、マルチモード導波路幅 W_m : 約 $19.5\ \mu\text{m}$ 、入力導波路軸ズレ量 $Offset$: 約 $5.7\ \mu\text{m}$ 、出力導波路間隔 : 約 $10\ \mu\text{m}$ 、導波路クラッド屈折率 : 約 1.500 、コア屈折率 : 約 1.505 である。

【 0 1 1 5 】

図 2 (a) は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光の振る舞いを示す図である。マルチモード導波路中心線から軸ズレした位置に接続されている入力導波路 101a から入射した波長 $1.30\ \mu\text{m}$ のシングルモードは、マルチモード導波路 102a において、マルチモード導波路 102a に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。0 次モードと 1 次モードとのモード分散、すなわち 0 次モードの伝播定数と 1 次モードの伝播定数とが異なるために生じるモード干渉によって、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光の光量が、特定の伝播定数に従い、マルチモード導波路 102a 中を右方向かつ上下交互に移動しながら、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光が伝播する。その後、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光は、第 1 の出力導波路 103a に入射して、第 1 の出力導波路 103a 中を伝播していく。

【 0 1 1 6 】

図 2 (b) は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光の振る舞いを示す図である。波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光についても同様に、マルチモード導波路 102a において 0 次モードと 1 次モードとに展開され、モード分散によって、光量がマルチモード導波路 2 中を右方向かつ上下交互に移動しながら、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光が伝播する。その後、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光は、第 2 の出力導波路 104a に入射して、第 2 の出力導波路 104a 中を伝播していく。

【 0 1 1 7 】

波長 $1.30\ \mu\text{m}$ および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の各モード分散の波長分散、すなわち、各波長の各モードの伝播定数の波長特性のため、各波長の光量移動の伝播定数も異なる。したがって、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光量移動と波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光量移動との位相差が逆相（すなわち、 π の整数倍）になる光路長で、波長 1.3

0 μm および波長 1. 5 5 μm の光量が、上下に分かれて共に極大となる。マルチモード導波路 1 0 2 a の長さは、上記光路長と一致するので、図 2 に示したように、波長 1. 3 0 μm の光と波長 1. 5 5 μm の光とが、上下方向に分離されることとなる。

【0 1 1 8】

したがって、光分岐器 1 0 0 a のように、波長 1. 3 0 μm の光と波長 1. 5 5 μm の光とが分離する（マルチモード出力端上の接続位置：X 1）各位置の近傍に、波長 1. 3 0 μm の光を誘導する第 1 の出力導波路 1 0 3 a とおよび波長 1. 5 5 μm の光を誘導する第 2 の出力導波路 1 0 4 a（マルチモード出力端上の接続位置：X 2）とを設けると、導波路のみの簡単な構成で容易に波長 1. 3 0 μm の光と波長 1. 5 5 μm の光とを分波できることとなる。

【0 1 1 9】

次に、マルチモード導波路 1 0 2 a の光路長の求め方について詳細に説明する。

図 3 は、マルチモード導波路 1 0 2 a 中を伝搬する各波長の詳細な光量を示す BPM によるシミュレーション結果を示す図である。図 3（a）は、波長 1. 3 0 μm の光の光量分布を示す図である。図 3（b）は、波長 1. 5 5 μm の光の光量分布を示す図である。図 4 は、光量移動位相差をほぼ π の整数倍とした根拠を説明するための図である。なお、図 3 では、最適な光路長を考察するために、マルチモード導波路 1 0 2 a の長さを最適な光路長よりも長くしてシミュレーション結果を出力している。以下、図 1 および図 3 を参照しながら、この波長分離のメカニズムを詳細に説明し、マルチモード導波路 1 0 2 a の光路長の求め方について説明する。

【0 1 2 0】

図 1 のようにマルチモード導波路 1 0 2 a の中心線 1 1 2 a から軸ズレした状態で、波長 1. 3 0 μm および波長 1. 5 5 μm のシングルモードを（マルチモード入力端上の入力位置 X に）入力すると、各波長毎の 0 次モードと 1 次モードとは、相互に干渉し合う。マルチモード導波路 1 0 2 a を伝搬する各波長の光量は、図 3 に示すように、このモード干渉によって、1. 3 0 μm の波長の光量は

、マルチモード導波路出力端位置 P_1 を通り、中心線 $112a$ に平行な $1.30\ \mu\text{m}$ の第1光量変動線、および中心線 $112a$ に対する P_1 の対称点である P_1' を通り、中心線 $112a$ に平行な $1.30\ \mu\text{m}$ の第2光量変動線の二直線上において、光量の極大と極小とが交互に現れ、かつ二直線上の光量変動は相互に逆相関関係に現れる。したがって、あたかも $1.30\ \mu\text{m}$ の波長の光量が上記二直線上を交互に移動しながら伝搬するかのように見える。

【0121】

同様に、 $1.55\ \mu\text{m}$ の波長の光量は、マルチモード導波路出位置 P_2 を通り、中心線 $112a$ に平行な $1.55\ \mu\text{m}$ の第2の光量変動線、および中心線 $112a$ に対する P_2 の対称点である P_2' を通り、中心線 $112a$ に平行な $1.55\ \mu\text{m}$ の第1の光量変動直線の二直線上において、光量の極大と極小とが交互に現れ、かつ二直線上の光量変動は相互に逆相関関係に現れる。したがって、あたかも $1.55\ \mu\text{m}$ の波長の光量が上記二直線上を交互に移動しながら伝搬するかのように見える。ここで、 $P_1 \neq P_2'$ 、 $P_2 \neq P_1'$ となるのは、波長によって、マルチモード導波路の横方向の広がり分布が異なり、長い波長の方が広がりが大きいからである。

【0122】

波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の0次モードの伝播定数を β_{i0} とし、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の1次モードの伝播定数を β_{i1} とし、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の0次モードの伝播定数を β_{j0} とし、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の1次モードの伝播定数を β_{j1} とすると、第1変動線上のモード加算条件およびモード打消条件は、表1に示すように、各モードの伝播定数差 ($\beta_{i0} - \beta_{i1}$, $\beta_{j0} - \beta_{j1}$) によって各モードの位相差 ($\theta_1 = (\beta_{i0} - \beta_{i1}) \times L_{im}$, $\theta_2 = (\beta_{j0} - \beta_{j1}) \times L_{jm}$) が π の整数倍毎に現れる。

【表 1】

表1 各波長のモード干渉条件(m: 整数)

波長	伝播定数		各波長の第1変動線上のモード 加算条件	第1変動線上のモード打消条件
	0次モード	1次モード		
λ_i	β_{i0}	β_{i1}	$(\beta_{i0} - \beta_{i1})L_{im} = 2m\pi$	$(\beta_{i0} - \beta_{i1})L_{im} = (2m+1)\pi$
λ_j	β_{j0}	β_{j1}	$(\beta_{j0} - \beta_{j1})L_{jm} = 2m\pi$	$(\beta_{j0} - \beta_{j1})L_{jm} = (2m+1)\pi$

ただし、 $\lambda_i = 1.30 \mu m$ 、 $\lambda_j = 1.55 \mu m$ 、
 L_{im} 、 L_{jm} ：各波長の光路長

【0 1 2 3】

波長 $1.30 \mu m$ の光と波長 $1.55 \mu m$ の光との分波には、「マルチモード導波路 1 0 2 a の出力端において、各波長の光量の極値が反転している」といった光量極値反転条件をほぼ満足しなければならない。

【0 1 2 4】

次に、具体的に、マルチモード導波路 1 0 2 a の光路長を求める。

「光量極値反転条件」を満足する光路長 L は、(式 1) の連立方程式および (式 2) から求められる。

【数 1】

$$\begin{cases} (\beta_{i0} - \beta_{i1})L = 2m\pi \\ (\beta_{j0} - \beta_{j1})L = (2m+1)\pi \end{cases} \quad \dots \text{(式 1)}$$

【数 2】

$$m = \text{INT} \left[\frac{1}{2} \frac{\beta_{j0} - \beta_{j1}}{\beta_{j0} - \beta_{j1} - (\beta_{i0} - \beta_{i1})} + \frac{1}{2} \right] = \text{INT} \left[\frac{1}{2} \frac{\beta_{j0} - \beta_{j1}}{\beta_{j0} - \beta_{j1} - (\beta_{i0} - \beta_{i1})} \right] \quad \dots \text{(式 2)}$$

ただし、 $\text{INT}[a]$ ： a よりも 0 に近い整数に丸めた値

【0 1 2 5】

したがって、光量極値反転条件を満足するマルチモード導波路長 L は (式 3) のようになる。

【数 3】

$$L = \frac{2\pi}{\beta_{j0} - \beta_{j1}} \text{INT} \left[\frac{1}{2} \frac{\beta_{j0} - \beta_{j1}}{\beta_{j0} - \beta_{j1} - \beta_{j0} - \beta_{j1}} \right] \dots (\text{式 } 3)$$

【0 1 2 6】

図 3 (a) (b) は、 $m=3$ の場合の例である。1. 30 μm と 1. 55 μm の光量極値の位相差が反転 (π の整数倍となる) する光路長 L (図 3 上の①) は、(式 4) となる。

【数 4】

$$L = \frac{6\pi}{\beta_{j0} - \beta_{j1}} = \frac{7\pi}{\beta_{j0} - \beta_{j1}} \dots (\text{式 } 4)$$

【0 1 2 7】

このとき、1. 30 μm の第 1 の光量変動線上の P_1 において、1. 30 μm の光量は極大となり、1. 55 μm の第 1 の光量変動線上において、1. 55 μm の光量は極小となる。一方、第 2 の光量変動線上の P_2 において、1. 30 μm の光量は極小となり、1. 55 μm の光量は極大となる。

【0 1 2 8】

上記で説明したように、光量極値反転条件を満足する光路長 L において、各波長は、それぞれ、1. 30 μm の第 1 の光路長変動線および 1. 55 μm の第 2 の光量変動線の上にあるので、マルチモード導波路の光路長を L とし、 $X_1 \doteq P_1$ 、 $X_2 \doteq P_2$ とすれば、波長の分離ができることとなる。

【0 1 2 9】

各波長のモード伝播定数 β は、マルチモード導波路の形状や材料屈折率などで決まるので、マルチモード導波路の形状や材料屈折率を最適化すれば、光量極値反転条件を満足する光路長 L が得られることとなる。

【0 1 3 0】

マルチモード導波路の形状最適化方法としては、

- ・ 光軸に沿った直方体の 3 辺の 3 変数を最適化する。

・ 上記①までの直方体での光波が分離する方向に対向する側面間隔を光軸に沿って変化させる。

などが挙げられる。

【 0 1 3 1 】

また、材料屈折率の最適化方法としては、

- ・ 屈折率の波長分散が最適な材料を使用する。
- ・ マルチモード導波路内に屈折率分布をつける。

などが挙げられる。

【 0 1 3 2 】

当然、材料屈折率の波長分散が大きい方が、各波長間で伝搬定数の差が大きくなるので、より短い光路長 L を可能にする。

【 0 1 3 3 】

しかし、光量極値反転条件を満足しなくても、高い消光比を望まないのであれば、図 3 に示す②や③を光路長としてもよい。

【 0 1 3 4 】

すなわち、

②の場合、光路長が、光量極値の位相差が π の整数倍となる長さ L_1 の近傍における長さ L_2 となる。

③の場合、光路長が、光量極値の位相差が π の整数倍の近傍となる長さ L_3 となる。

【 0 1 3 5 】

図 4 に示すように、②の場合における長さ L_1 の近傍の範囲は、光量が極大値の半分（3 dB ダウン）となる範囲であり、 π の整数倍の光量変動位相差に対して、 $\pm \pi / 2$ となる範囲である。

【 0 1 3 6 】

また、③の場合における近傍の範囲は、光量が極大値の半分（3 dB ダウン）となる範囲で、 π の整数倍の光量変動位相差に対して、 $\pm \pi / 2$ となる範囲である。

【 0 1 3 7 】

このように、第 1 の実施形態では、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が、 π の整数倍となるような光路長を有するマルチモード導波路 102a を設け、マルチモード導波路 102a の中心線 112a から軸ズレした位置に入力導波路を結合し、中心線 112a に対して相対する方向に第 1 の出力導波路 103a と第 2 の出力導波路 104a とを設けることによって、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光と波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光とを分波することが可能となる。第 1 の実施形態に係る光分波器は、マルチモード光導波路を用いた単純な構成であるので、低価格に提供されることが可能となる。

【0138】

また、分波性能も従来のものと比べ劣るものではない。

【0139】

また、第 1 の実施形態では、光量極値反転条件を完全に満足させることによって消光比を高めることができるので、より高性能な光分波を行うことが可能となる。

【0140】

なお、光量極値反転条件を完全に満足していなくても、各波長のそれぞれの出力端で、少なくともいずれか一方の波長の光量が極値となるような光路長をマルチモード導波路が有していれば、ある程度の消光比を得ることが可能となる。

【0141】

なお、上記では説明を簡単にするために最大モード次数を 1 次までとしたが、実際には 2 次や 3 次などの高次モードが少なからず存在し、詳細なモード変化は複雑である。しかし、基本的には、各波長のモード分散には波長分散が存在するため、各波長のモード分散による光量移動の位相差をほぼ π の整数倍となるようにマルチモード導波路形状を決めることで、異なる位置で各波長の光量を最大にすることができる。したがって、高次モードが存在したとしても、波長分離が可能である。

【0142】

なお、上記では、マルチモード導波路 102a の出力端における $1.30\ \mu\text{m}$

の第 1 の光量変動線上の P 1 に第 1 の出力導波路 1 0 3 a を、 $1.55\mu\text{m}$ の第 2 の光量変動線上の P 2 に第 2 の出力導波路 1 0 4 a を、それぞれ接線して ($X_1 = P_1$ 、 $X_2 = P_2$)、それぞれの出力導波路に取り出したい波長の光量が極大となるように第 1 および第 2 の出力導波路の位置を決めることとしたが、マルチモード導波路出力端における各波長の光量分布は、図 5 のように波長の長い $1.55\mu\text{m}$ の方が極値が中心線から遠い位置にくる。透過ロスだけを考えるのであれば、上記のように第 1 の出力導波路を P 1 に、第 2 の出力導波路を P 2 に接続すればよいが、P 1 や P 2 では、除去したい波長が極小とならないために、消光比は 30 dB 以下となり十分な消光比が得られない。そこで、第 1 の出力導波路を $1.55\mu\text{m}$ の光量が極小となる P 2' に、第 2 の出力導波路を $1.30\mu\text{m}$ の光量が極小となる P 1' にそれぞれ接続することで ($X_1 = P_2'$ 、 $X_2 = P_1'$)、第 1 の出力導波路の $1.30\mu\text{m}$ の光量の減少以上に $1.55\mu\text{m}$ の光量が減少するので、1 dB 以下の透過ロスを維持しながら、40 dB 以上の十分な消光比を得ることができる。

【0143】

また、第 2 の出力導波路についても同様である。

【0144】

このように、除去したい波長の極小位置に各波長を取り出したい出力導波路を接続することで、消光比が大幅に改善するという効果が生まれる。

【0145】

また、入出力導波路を、上記のようにマルチモード導波路出力端上の各波長の極値点に配置する以外に、マルチモード導波路の中心線にミラー対称に配置して、各入出力導波路の中心線からの軸ズレ距離を等しくする方法もある。しかし、単にミラー対称に配置する方法では、表 2 のように、出力端での各波長の光量分布を把握して、極値を選ばないと十分な消光比が得られないことがわかる。

【0146】

また、表 2 から、透過ロスの変動は微小であることが分かるので、消光比を律則する遮断ロスを最大にする各波長の極小点に出力導波路を接続する構成がベストである。

【 0 1 4 7 】

なお、表 2 において、各記号の小文字は、マルチモード導波路の中心からの軸ズレ距離を示す。当然、 $(X1, P1, P2')$ および $(X2, P1', P2)$ について、同括弧内では中心線に対して同方向にあることを示すが、異なる括弧内では異方向にあることを示す。透過ロスとは、取出したい波長のロスのことをいう。遮断ロスとは、除去したい波長のロスのことをいう。

【 0 1 4 8 】

【表 2】

入出力導波路の接続位置 $(X, X1, X2)$ と消光比の関係

入出力導波路配置 [μm]	出力	ロス [dB] 下線：透過ロス 無装飾：遮断ロス		消光比 [dB]
		1.30 μm 波長	1.55 μm 波長	
(1) 極小配置 $x=5.7, x1=4.6 (X1=P2'), x2=5.1 (X2=P1')$	X 1	<u>0.80</u>	58.30	57.50
	X 2	55.54	<u>0.65</u>	54.89
(2) 極大配置 $x=5.7, x1=5.1 (X1=P1), x2=4.6 (X2=P2)$	X 1	<u>0.68</u>	28.09	27.41
	X 2	25.75	<u>0.56</u>	25.19
(3) 出力ミラー対称配置① $x=x3=x4=5.7$	X 1	<u>1.04</u>	13.67	12.63
	X 2	14.26	<u>0.75</u>	13.51
(4) 出力ミラー対称配置② $x=x3=x4=W_m/4=4.875$	X 1	<u>0.60</u>	22.10	21.49
	X 2	29.33	<u>0.40</u>	28.93
(5) 出力ミラー対称配置③ $x=x3=x4=W/3=6.5$	X 1	<u>1.87</u>	9.10	7.23
	X 2	10.09	<u>1.55</u>	8.54
(6) 出力ミラー対称配置④ $x=x3=x4=W/6=3.25$	X 1	3.03	4.36	1.33
	X 2	4.96	2.92	2.04

ただし、マルチモード導波路形状： $W_m=19.5\mu\text{m}$ 、 $L_m=6550\mu\text{m}$ 。

X：入力導波路接続位置

X1：第1出力導波路接続位置、X2：第2出力導波路接続位置

P1：1.3 μm の極大点、P1'：1.3 μm の極小点

P2：1.55 μm の極大点、P2'：1.55 μm の極小点

【 0 1 4 9 】

(第 2 の実施形態)

図 6 は、本発明の第 2 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 b の構成概要図である。図 6 において、図 1 に示した第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 1 5 0 】

図 6 において、光分波器 1 0 0 b は、入力導波路 1 0 1 a と、異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b と、第 1 の出力導波路 1 0 3 a と、第 2 の出力導波路 1 0 4 a と、これらを固定する基板 1 0 6 b と、V 溝 1 0 5 a, 1 1 5 a, 1 2 5 a とを備える。

【 0 1 5 1 】

異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b は、直方体型の第 1 の光路長部 1 1 2 b と、直方体型の第 2 の光路長部 1 2 2 b とを含む。第 1 の光路長部 1 1 2 b の光路長は、第 2 の光路長部 1 2 2 b の光路長よりも長い。

【 0 1 5 2 】

第 1 の光路長部 1 1 2 b は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 の差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する。第 1 の光路長部 1 1 2 b の出射端からは、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光が出力される。

【 0 1 5 3 】

第 2 の光路長部 1 2 2 b は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 の差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する。第 2 の光路長部 1 2 2 b の出射端からは、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光が出力される。

【 0 1 5 4 】

第 1 の実施形態で説明したように、異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b の中心線 1 3 2 b から軸ズレしている入力導波路 1 0 1 a からの波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光は、異なる伝播定数で光量移動しながら、異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b 内を伝播する。

【 0 1 5 5 】

第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a では、波長 1 . 3 0 μ m の光の出射端と波長 1 . 5 5 μ m の出射端とを、マルチモード導波路 1 0 2 a の出射同一面上に形成したため、光路長が 5 , 0 0 0 μ m 以上と大きくなる。

【 0 1 5 6 】

ところが、第 2 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 b では、波長 1 . 3 0 μ m の光の出射端と波長 1 . 5 5 μ m の出射端とを、同一面上に形成せず、波長 1 . 3 0 μ m の光と波長 1 . 5 5 μ m の光との光量移動の位相差が逆相となる光路長、すなわち波長 1 . 3 0 μ m の出射端を光量がマルチモード導波路の上半分側で最大となる光路長位置に設け、波長 1 . 5 5 μ m の出射端をマルチモード導波路の下半分側で最大となる任意の光路長位置に設ける。このようにして、異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b を形成する。

【 0 1 5 7 】

これにより、第 1 の実施形態のように各波長の出射面が同一である必要がなくなるので、異光路長マルチモード導波路 1 0 2 b の光路長を 5 , 0 0 0 μ m 以下にすることが可能となる。したがって、光分波器の小型化が可能となる。

【 0 1 5 8 】

なお、第 2 の実施形態では、波長 1 . 3 0 μ m の光の光量がマルチモード導波路の上半分側で最大となるようにし、波長 1 . 5 5 μ m の光の光量がマルチモード導波路の下半分側で最大となるようにしたが、別に、この上下関係が逆であっても、何ら問題ない。

【 0 1 5 9 】

(第 3 の実施形態)

図 7 は、本発明の第 3 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 c の構成概要図である。図 7 において、図 1 に示した第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 1 6 0 】

図 7 において、光分波器 1 0 0 c は、入力導波路 1 0 1 a と、多段型マルチモード導波路 1 0 2 c と、第 1 の出力導波路 1 0 3 a と、第 2 の出力導波路 1 0 4

a と、これらを固定する基板 1 0 6 c と、V 溝 1 0 5 a, 1 1 5 a, 1 2 5 a とを備える。

【0 1 6 1】

多段型マルチモード導波路 1 0 2 c は、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c と、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c とを含む。第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c の中心線 1 3 2 c と、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c の中心線 1 4 2 c とは、一致していない。

【0 1 6 2】

第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光について、0 次モードおよび 1 次モードを固有モードとして存在させることができ、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光について、0 次モードのみを固有モードとして存在させることができる。第 2 マルチモード領域部 1 2 2 c は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光について、それぞれ 0 次モードおよび 1 次モードを固有モードとして存在させることができる。

【0 1 6 3】

多段型マルチモード導波路 1 0 2 c の全長は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとのモード分散による横方向の光量移動と、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとのモード分散による横方向の光量移動との位相差がほぼ π の整数倍になるように決められている。

【0 1 6 4】

また、波長が長い方が高次モードの発生にはより大きな導波路幅を要し、逆に波長が短い方がより小さな導波路幅でよいので、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c の幅は、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c の幅よりも小さい。本発明のようにモード干渉で波長分離する場合、出力側では、全ての波長でマルチモードが必要なので、各波長でマルチモードを発生する位置を変えるには多段型マルチモード導波路 1 0 2 c の幅を光伝播方向に広げるのが有効である。

【0 1 6 5】

次に、第 3 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 c での光の振舞いについて説明する。幅が小さい方の第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c の中心線 1 3 2 c から軸

ズレした位置の入力導波路 1 0 1 a から入射した波長 $1.30\ \mu\text{m}$ のシングルモードは、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c において、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。光伝播に連れて、0 次モードと 1 次モードとのモード分散により、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光は、横方向に光量移動を伴いながら伝播する。

【0 1 6 6】

一方、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光は、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c において、0 次モードのみしか存在できないので、モード分散することなく、すなわち、横方向に光量移動することなく、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c 中を伝播する。すなわち、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c の出射端においては、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光と波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光との間で光量移動の位相差 ϕ が生じる。

【0 1 6 7】

続いて、幅が大きい方の第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c の中心線 1 4 2 c から軸ズレした位置から入射した波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードおよび 1 次モードは、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c において、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。光伝播に連れて、0 次モードと 1 次モードとのモード分散により、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光は、横方向に新たな伝播定数で光量移動を伴いながら伝播する。

【0 1 6 8】

一方、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c の中心線 1 4 2 c から軸ズレした位置から入射した波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードは、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c において、第 2 のマルチモード領域部 2 2 c に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。光伝播に連れて、0 次モードと 1 次モードとのモード分散により、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光は、横方向に光量移動を伴いながら伝播する。第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c において、各波長の光量移動の位相差がすでに ϕ だけ生じているので、第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c での光量移動の位相差は、 $\pi - \phi$ だけで良い。

【0 1 6 9】

このように、各波長の光量移動の位相差は、第 1 のマルチモード領域部 1 1 2

cでは波長1.30 μm のモード分散のみで決まり、第2のマルチモード領域部122cでは波長1.30 μm と波長1.55 μm とのモード分散の波長分散（モード分散の差）で決まる。したがって、当然、第1のマルチモード領域部112cでの光量移動の位相差の方が、第2のマルチモード領域部122cでの光量移動の位相差に比べて大きい。それゆえ、第3の実施形態に係る光分波器100cでは、第1のマルチモード領域部112cで大きな位相差を稼ぐことができるので、多段型マルチモード導波路102cの全長を短くすることが可能となる。その結果、第1の実施形態に係る光分波器100aよりも小型な光分波器を提供することが可能となる。

【0170】

また、第1のマルチモード領域部112cの幅を第2のマルチモード領域部122cの幅より狭くすることによって、第1のマルチモード領域部112cでより大きな位相差を稼ぐことが可能となる。

【0171】

なお、図7に示したように、第1のマルチモード領域部112cおよび第2のマルチモード領域部122cの幅を変えることによって、伝播特性を変える他、徐々に入力側から出力側に向かって幅を大きくしていった、伝播特性を変え、短い波長の方の光量変動位相差を稼ぐようにしてもよい。

【0172】

(第4の実施形態)

図8は、本発明の第4の実施形態に係る光分波器100dの構成概要図である。図8において、図1に示した第1の実施形態に係る光分波器100aと同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0173】

光分波器100dは、シングルモード導波路でマルチモード伝播部を形成した光分波器であって、第1の実施形態に係る光分波器100aと同様の効果を有する。光分波器100dは、入力導波路101aと、マルチモード伝播部102dと、第1の出力導波路103aと、第2の出力導波路104aと、これらを固定する基板106dと、V溝105a, 115a, 125aとを備える。

【 0 1 7 4 】

マルチモード伝播部 1 0 2 d は、第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d と、第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d とを含む。

【 0 1 7 5 】

第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d と第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d とは、マルチモード伝播部 1 0 2 d の中心線 1 3 2 d を中心にして、 $20\ \mu\text{m}$ 以下の間隔で並行に配列している。このように配列されることによって、マルチモード伝播部 1 0 2 d では、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードおよび 1 次モード、ならびに波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードおよび 1 次モードが存在可能となる。マルチモード伝播部 1 0 2 d（すなわち、第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d および第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d）は、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する。

【 0 1 7 6 】

第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d の入力端は、入力導波路 1 0 1 a の出力端と光学的に結合する。第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d の出力端は、第 1 の出力導波路 1 0 3 a の入力端と光学的に結合する。第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d の入力端は、開放端となっている。第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d の出力端は、第 2 の出力導波路 1 0 4 a の入力端と光学的に結合する。

【 0 1 7 7 】

このように、第 4 の実施形態では、モード結合が可能な距離にシングルモード導波路を 2 本並行に並べてマルチモード伝播部 1 0 2 d を形成する。シングルモード導波路を 2 本並行に並べることによって、マルチモード伝播部 1 0 2 d では、モード干渉が発生し、モード分散により各波長の光の光量が第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d と第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d とを交互に移動しながら伝播する。この光量移動の波長分散を利用して、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光の光量最大位置と波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光の光量最大位置とが、第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 d と第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 d とに分かれる光路長をマ

ルチモード伝播部 1 0 2 d の長さとし、第 1 の出力導波路 1 0 3 a と第 2 の出力導波路 1 0 4 a とで、モードが結合しない距離まで各波長の光を誘導すれば、波長 1. 3 0 μ m の光と波長 1. 5 5 μ m の光とを分離することが可能となる。

【 0 1 7 8 】

なお、マルチモード伝播部 1 0 2 d に対して、入力導波路 1 0 1 a のモードと結合しない距離にダミーシングルモード導波路をつないでも良い。図 9 は、ダミーシングルモード導波路をつないだ光分波器 1 0 1 d の構成概要図である。図 9 に示すように、ダミーシングルモード導波路 1 1 1 d は、入力導波路 1 0 1 a のモードと結合できない距離に配置されている。

【 0 1 7 9 】

(第 5 の実施形態)

図 1 0 は、本発明の第 5 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 e の構成概要図である。図 1 0 において、図 1 に示した第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 1 8 0 】

図 1 0 において、光分波器 1 0 0 e は、入力導波路 1 0 1 a と、多段マルチモード伝播部 1 0 2 e と、第 1 の出力導波路 1 0 3 a と、第 2 の出力導波路 1 0 4 a と、これらを固定する基板 1 0 6 e と、V 溝 1 0 5 a, 1 1 5 a, 1 2 5 a とを備える。多段マルチモード伝播部 1 0 2 e は、第 1 のマルチモード領域部 1 5 2 e と、第 2 のマルチモード領域部 1 6 2 e とを含む。第 1 のマルチモード領域部 1 5 2 e は、第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 e と、第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 e とを有する。第 2 のマルチモード領域部 1 6 2 e は、第 3 のシングルモード導波路 1 3 2 e と、第 4 のシングルモード導波路 1 4 2 e とを含む。

【 0 1 8 1 】

第 1 のシングルモード導波路 1 1 2 e と第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 e とは、入力側から 2 0 μ m 以下の間隔で並行配列しており、第 1 のマルチモード領域部 1 5 2 e を構成する。なお、厳密には、第 2 のシングルモード導波路 1 2 2 e の出力側で第 4 のシングルモード導波路 1 4 2 e への接続のため湾曲しているので、その部分では、並行配列となっていない。

【0182】

第3のシングルモード導波路132eと第4のシングルモード導波路142eとは、 $20\mu\text{m}$ 以下の間隔であり、かつ第1のシングルモード導波路132eと第2のシングルモード導波路142eとの間隔よりも大きい間隔で並行配列しており、第2のマルチモード領域部162eを構成する。なお、厳密には、第4のシングルモード導波路142eの入力側で第2のシングルモード導波路122eとの接続のため湾曲しているので、その部分では、並行配列となっていない。

【0183】

第1のシングルモード導波路112eと第3のシングルモード導波路132eとは、一端同士で直線に光学的結合している。第2のシングルモード導波路122eと第4のシングルモード導波路142eとは、一端同士で滑らかに光学的結合している。第2のシングルモード導波路122eの他端は、開口端となっている。

【0184】

第1のシングルモード導波路112eの入力端は、入力導波路101aの出力端と光学的に結合する。第3のシングルモード導波路132eの出力端は、第1の出力導波路103aの入力端と光学的に結合する。第4のシングルモード導波路142eの出力端は、第2の出力導波路104aの入力端と光学的に結合する。

【0185】

多段型マルチモード伝播部102eの光路長は、波長 $1.30\mu\text{m}$ および波長 $1.55\mu\text{m}$ の光の0次モードと1次モードとのモード分散による各波長の横方向の光量移動の位相差がほぼ π の整数倍になるように決められる。

【0186】

2本の並行シングルモード導波路で構成される多段型マルチモード伝播部102eでの各波長のモード分散は、並行シングルモード導波路における間隔の大きさで定まる。第5の実施形態では、第1のマルチモード領域部152eで波長 $1.30\mu\text{m}$ の光量位相差を大きく稼ぐこととなるので、第2のマルチモード領域部162eの光路長を短くすることができる。したがって、多段型マルチモード

伝播部 1 0 2 e 全体の長さを短くすることができ、小型の光分波器を提供することが可能となる。

【 0 1 8 7 】

(第 6 の実施形態)

図 1 1 は、本発明の第 6 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 f の構成概要図である。図 1 1 において、図 1 に示した第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 1 8 8 】

図 1 1 において、光分波器 1 0 0 f は、入力導波路 1 0 1 a と、マルチモード導波路 1 0 2 f と、第 1 ～第 n の出力導波路 1 0 3 f (# 1) ～ 1 0 3 f (# n) と、これらを固定する基板 1 0 6 f と、基板 1 0 6 f に穿孔されている V 溝 1 0 5 a , 1 0 5 f (# 1) ～ 1 0 5 f (# n) とを備える。なお、図 1 1 において、第 1 ～第 n の出力導波路 1 0 3 f (# 1) ～ 1 0 3 f (# n) 、および V 溝 1 0 5 f (# 1) ～ 1 0 5 f (# n) の参照符号については、一部省略している。

【 0 1 8 9 】

マルチモード導波路 1 0 2 f は、波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ (n は自然数、以下同様) について、 n 種類のマルチモード (0 次モードから n - 1 次モード) が伝播可能で、第 k (k = 1, 2, \dots, n - 1, 以下同様) 波長 λ_k の i (i = 0, 1, \dots, k - 2) 次モードと i + 1 次モードとの位相差 θ_k 、および第 k + 1 波長 λ_{k+1} の i 次モードと i + 1 次モードとの位相差 θ_{k+1} について、位相差 θ_k と位相差 θ_{k+1} との差が、ほぼ π の整数倍となる光路長を有する。

【 0 1 9 0 】

入力導波路 1 0 1 a は、マルチモード導波路 1 0 2 f の中心線 1 1 2 f から軸ズレして、マルチモード導波路 1 0 2 f の入力側に光学的に結合している。各出力導波路 1 0 3 f (# 1) ～ 1 0 3 f (# n) は、マルチモード導波路 1 0 2 f の出力側において、異なる位置に光学的に結合している。

【 0 1 9 1 】

次に、光分波器 1 0 0 f における光の振る舞いについて説明する。

入力導波路 1 0 1 a から入射した各第 k 波長 λ_k のシングルモードは、マルチモード導波路 1 0 2 f において、当該マルチモード導波路 1 0 2 f に固有の 0 次モード～ $n-1$ 次モードそれぞれに展開される。光伝播するに従って、0 次モード～ $n-1$ 次モードのモード分散により、当該第 k 波長 λ_k の光量は、特定の伝播定数で n 個の並行直線上を順番に移動しながら伝播する。

【0 1 9 2】

同様に、第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} も、マルチモード導波路 1 0 2 f において、当該マルチモード導波路 1 0 2 f に固有の 0 次モード～ $n-1$ 次モードそれぞれに展開される。光伝播するに従って、0 次モード～ $n-1$ 次モードのモード分散により、当該第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} の光量は、特定の伝播定数で n 個の並行直線上を順番に移動しながら伝播する。なお、上記各直線は、第 k の出力導波路 1 0 3 f ($\#k$) とマルチモード導波路 1 0 2 f との結合位置を通る直線である。

【0 1 9 3】

第 k 波長 λ_k と第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} との各モード分散の波長分散、すなわち、各波長の各モードの伝播定数の波長特性のため、各波長の光量移動の伝播定数も異なる。第 k 波長 λ_k の光量移動と第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} の光量移動との位相差が逆相 (π の整数倍) になる光路長で、第 k 波長 λ_k と第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} との光量は、上記 n 個の並行直線上の異なる直線上に分離する。

【0 1 9 4】

このように、第 6 の実施形態では、上記光路長をマルチモード導波路 1 0 2 f の長さとし、第 k 波長 λ_k と第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} とが分離した各位置近傍に、第 k 波長 λ_k を誘導する出力導波路 1 0 3 f ($\#k$) と、第 $k+1$ 波長 λ_{k+1} を誘導する出力導波路 1 0 3 f ($\#k+1$) とを設けることによって、導波路のみの簡単な構成で容易に n 種類の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を分波することができる。

【0 1 9 5】

なお、第 1 の実施形態における光分波器 1 0 0 a のマルチモード導波路 1 0 2 a を、第 4 の実施形態で示した 2 本の並行なシングルモード導波路 1 1 2 d, 1 2 2 d に置換えたのと同様にして、上記マルチモード導波路 1 0 2 f を n 本の並行なシングルモード導波路に置き換えても良い。図 1 2 は、第 6 の実施形態に係

る光分波器 1 0 0 f のマルチモード導波路 1 0 2 f を n 本のシングルモード導波路 1 2 2 f (# 1) ~ (# n) に置き換えた光分波器 1 0 1 f の構成概要図である。図 1 2 において、高次マルチモード伝播部 1 1 2 f を構成するシングルモード導波路 1 2 2 f (# 1) ~ (# n) 以外の構成部分については、図 1 1 に示した光分波器 1 0 0 f と同様である。

【 0 1 9 6 】

(第 7 の実施形態)

図 1 3 は、本発明の第 7 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 g の構成概要図である。図 1 3 において、図 1 に示した第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【 0 1 9 7 】

図 1 3 において、光分波器 1 0 0 g は、入力導波路 1 0 1 a と、第 1 のマルチモード導波路 1 0 2 g と、第 1 の中継導波路 1 0 3 g と、第 2 の中継導波路 1 0 4 g と、第 2 のマルチモード導波路 1 0 5 g と、第 3 のマルチモード導波路 1 0 7 g と、第 1 の出力導波路 1 0 8 g と、第 2 の出力導波路 1 0 9 g と、これらを固定するための基板 1 0 6 g と、V 溝 1 0 5 a , 1 1 5 a , 1 2 5 a とを備える。

【 0 1 9 8 】

第 1 のマルチモード導波路 1 0 2 g 、第 2 のマルチモード導波路 1 0 5 g および第 3 のマルチモード導波路 1 0 7 g の機能および光路長は、第 1 の実施形態におけるマルチモード導波路 1 0 2 a と同様である。

【 0 1 9 9 】

第 1 の中継導波路 1 0 3 g は、第 1 のマルチモード導波路 1 0 2 g と第 2 のマルチモード導波路 1 0 5 g との間を中継する導波路である。第 1 の中継導波路 1 0 3 g の入力端は、第 1 のマルチモード導波路 1 0 2 g における波長 1 . 3 0 μ m の出力端に光学的に結合している。この出力端の位置については、第 1 の実施形態におけるマルチモード導波路 1 0 2 a と同様である。一方、第 1 の中継導波路 1 0 3 g の出力端は、第 2 のマルチモード導波路 1 0 5 g の中心線 1 1 5 g から軸ズレした位置に光学的に結合している。

【0200】

第2の中継導波路104gは、第1のマルチモード導波路102gと第3のマルチモード導波路107gとの間を中継する導波路である。第2の中継導波路104gの入力端は、第1のマルチモード導波路102gにおける波長 $1.55\mu\text{m}$ の出力端に光学的に結合している。この出力端の位置については、第1の実施形態におけるマルチモード導波路102aと同様である。一方、第2の中継導波路104gの出力端は、第3のマルチモード導波路107gの中心線117gから軸ズレした位置に光学的に結合している。

【0201】

第1の出力導波路108gは、第2のマルチモード導波路105gからの波長 $1.30\mu\text{m}$ 波長光を第1の出力光ファイバ8に中継するための導波路である。第1の出力導波路108gの入力端は、第2のマルチモード導波路105gにおける波長 $1.30\mu\text{m}$ の出力端に光学的に結合している。この出力端の位置については、第1の実施形態におけるマルチモード導波路102aと同様である。

【0202】

第2の出力導波路109gは、第3のマルチモード導波路107gからの $1.55\mu\text{m}$ 波長光を第2の出力光ファイバ9に中継するための導波路である。第2の出力導波路109gの入力端は、第3のマルチモード導波路107gにおける波長 $1.55\mu\text{m}$ の出力端に光学的に結合している。この出力端の位置については、第1の実施形態におけるマルチモード導波路102aと同様である。

【0203】

このように、第7の実施形態では、第1のマルチモード導波路102gの出力をさらに第2および第3のマルチモード導波路105g、107gに入力する多段型分波器構成となっている。これにより、第2および第3のマルチモード導波路105g、107gで、さらに消光比を高めることができる。したがって、第1の実施形態に係る光分波器100aよりも、波長 $1.30\mu\text{m}$ および波長 $1.55\mu\text{m}$ の消光比をより高めることができる光分波器を提供することが可能となる。

【0204】

なお、マルチモード導波路を2段よりも3段にした方がより高い消光比が得られるが、全体の光路長が長くなり、ロス増加となるので、ロスと消光比とのどちらを重視するか用途に応じて、マルチモード導波路の段数を決めると良い。

【0205】

なお、第2のマルチモード導波路105gからの波長 $1.55\mu\text{m}$ の出力光、および第3のマルチモード導波路107gからの波長 $1.30\mu\text{m}$ の出力光は必要ないので、図13における光分波器100gのように、これらの光の出力導波路を省略している。

【0206】

なお、消光比を高める目的であるならば、第2のマルチモード導波路105gに代えて、第1の中継導波路103gに $1.30\mu\text{m}$ 近傍の光のみを通すフィルタを接続し、第1の出力光ファイバ8と結合させ、第3のマルチモード導波路107gに代えて、 $1.55\mu\text{m}$ 近傍の光のみを通すフィルタを接続し、第2の出力光ファイバと結合させてもよい。

【0207】

なお、上記第1～第7の実施形態における光分岐器では、マルチモード伝播部でのモード分散および波長分散を固定している。すなわち、マルチモード伝播部の屈折率が一定であるとしている。しかし、屈折率を変化することができるようなマルチモード伝播部を用いても良い。

【0208】

図14は、電気光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光分波器101aの構成概略図である。図14に示す光分波器101aでは、マルチモード導波路112aのコア材料として電気光学効果を有する材料を使用し、マルチモード導波路112aの上側の表裏面に二つの電極111（図14では、表側の電極111のみ図示）を設けて、外部の電圧制御部112から電極111に印加する電圧を制御する。これにより、マルチモード導波路112aの屈折率をリアルタイムで任意に変化させることができるので、波長 $1.30\mu\text{m}$ および波長 $1.55\mu\text{m}$ の消光比を動的に制御することが可能となる。なお、マルチモード導波路112a上の電極形状や設置位置を変化させることでマルチモード

導波路 1 1 2 a の屈折率分布も動的に変化する。電極 1 1 1 の取り付け位置としては、図 1 4 のように、マルチモード導波路 1 1 2 a の上側の表裏面に一対設けるのに限定されるわけではなく、下側の表裏面に一対設けたり、表面の上下に一対設けるなどしてもよく、マルチモード導波路 1 1 2 a の屈折率を変化させることができる位置であれば、どのような位置であってもよい。

【0 2 0 9】

図 1 5 は、熱光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光分波器 1 0 2 a の概略構成図である。図 1 5 に示す光分波器 1 0 2 a では、マルチモード導波路 1 2 2 a のコア材料として熱光学効果を有する材料を使用し、マルチモード導波路 1 2 2 a の上側表面に一つの熱伝導部 1 2 1 を設けて、外部の温度制御部 1 2 2 から熱を伝えて、熱伝導部 1 2 1 がマルチモード導波路 1 2 2 a に伝える熱の温度を制御する。これにより、マルチモード導波路 1 2 2 a の屈折率をリアルタイムで任意に変化させることができるので、波長 $1.30\mu\text{m}$ および波長 $1.55\mu\text{m}$ の消光比を動的に制御することが可能となる。なお、熱制御の仕方として、マルチモード導波路 1 2 2 a にペルチェ素子を設け、ペルチェ素子へ流す電流によりマルチモード導波路 1 2 2 a の温度を制御することも可能である。なお、マルチモード導波路 1 2 2 a 上の熱伝導部 1 2 1 の形状やペルチェ素子の形状、設置位置を変化させることでマルチモード導波路 1 2 2 a の屈折率分布も動的に変化する。この位置は、図 1 5 に示すように、マルチモード導波路 2 2 の上側表面のみに限定されるものではなく、上側裏面や、下側表面または裏面や、上下を含む全面など、マルチモード導波路 1 2 2 a の屈折率を変化させることができる位置であれば、どのような位置であってもよい。

【0 2 1 0】

なお、マルチモード導波路を複数の並行シングルモード導波路に置き換える場合も、シングルモード導波路のコア材を電気光学効果や熱光学効果を有する材料にすれば、図 1 4 や図 1 5 を用いて説明したのと同様のことが言える。

【0 2 1 1】

なお、第 2 ～ 第 5 および第 7 の実施形態で示した光分波器の原理を n 種類の波長の分波に用いることで、小型化を図ることも可能である。

【 0 2 1 2 】

次に、本発明の光合波器の実施形態について説明する。なお、光合波器の構成は、光分波器の入出力関係を逆にした構成となる。光合波器における光の振る舞いも、光の可逆性から、光分波器における光の振る舞いの逆になる。したがって、以下の第 8 ～ 第 1 2 の実施形態では、光合波器の構成概要図を示し、説明を簡単にする。

【 0 2 1 3 】

(第 8 の実施形態)

図 1 6 は、本発明の第 8 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 a の構成概要図である。光合波器 2 0 0 a は、第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a の構成を逆にした光合波器である。

【 0 2 1 4 】

図 1 6 において、光合波器 2 0 0 a は、第 1 の入力導波路 2 0 1 a と、第 2 の導波路 2 0 2 a と、マルチモード導波路 2 0 3 a と、出力導波路 2 0 4 a と、これらを固定する基板 2 0 6 a と、第 1 の入力光ファイバ 2 8 を固定するための V 溝 2 0 5 a と、第 2 の入力光ファイバ 2 9 を固定するための V 溝 2 1 5 a と、出力光ファイバ 2 7 を固定するための V 溝 2 2 5 a とを備える。

【 0 2 1 5 】

マルチモード導波路 2 0 3 a は、光分波器 1 0 0 a におけるマルチモード導波路 1 0 2 a と同様、波長 $1.30\mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_1 、および波長 $1.55\mu\text{m}$ の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_2 について、位相差 θ_1 と位相差 θ_2 との差が、ほぼ π の整数倍となる光路長を有する。

【 0 2 1 6 】

第 1 の入力導波路 2 0 1 a と第 2 の入力導波路 2 0 2 a とは、マルチモード導波路 2 0 3 a の中心線 2 1 3 a を中心に対称な位置に配置されている。出力導波路 2 0 4 a は、マルチモード導波路 2 0 3 a の中心線 2 1 3 a から軸ズレした位置に配置されている。これらの配置関係は、光分波器 1 0 0 a の入出力導波路の配置位置が逆になっているだけである。

【 0 2 1 7 】

第 1 の入力光ファイバ 2 8 から第 1 の入力導波路 2 0 1 a に入力される波長 1 . 3 0 μ m の光は、マルチモード導波路 2 0 3 a で 0 次モードと 1 次モードとに展開される。第 2 の入力光ファイバ 2 9 から第 2 の入力導波路 2 0 2 a に入力される波長 1 . 5 5 μ m の光は、マルチモード導波路 2 0 3 a で 0 次モードと 1 次モードとに展開される。マルチモード導波路 2 0 3 a におけるモード干渉によって、波長 1 . 3 0 μ m の光の光量と波長 1 . 5 5 μ m の光の光量とがマルチモード導波路 2 0 3 a の出力端（出力導波路 2 0 4 a の入力端）で共に極大となり、合波された光が出力導波路 2 0 4 a を介して、出力光ファイバ 2 0 7 c に入力される。

【 0 2 1 8 】

このように、第 8 の実施形態に係る光合波器では、波長 1 . 3 0 μ m の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ 1、および波長 1 . 5 5 μ m の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ 2 について、位相差 θ 1 と位相差 θ 2 との差が、 π の整数倍となるような光路長を有するマルチモード導波路 2 0 3 a を設け、マルチモード導波路 2 0 3 a の中心線 2 1 3 a から軸ズレした位置に出力導波路 2 0 4 a を結合し、中心線 2 1 3 a を中心に入力導波路 2 0 1 a および 2 0 2 a を設けることによって、波長 1 . 3 0 μ m の光と波長 1 . 5 5 μ m の光とを合波することが可能となる。第 1 の実施形態に係る光分波器は、マルチモード光導波路を用いた単純な構成であるので、低価格に提供することが可能となる。

【 0 2 1 9 】

なお、合波器の場合、消光比というスペックが無いので、透過ロスで性能が決まる。したがって、2 個の入力導波路の接続位置は、光量極値反転条件を完全に満たすように、各波長の極大点とするのがベストである。

【 0 2 2 0 】

（第 9 の実施形態）

図 1 7 は、本発明の第 9 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 b の構成概要図である。図 1 7 において、第 8 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。光合波器 2 0 0 b は、第 2 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 b の構成を逆にした光合波器である。

【 0 2 2 1 】

図 1 7 において、光合波器 2 0 0 b は、第 1 の入力導波路 2 0 1 a と、第 2 の導波路 2 0 2 a と、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b と、出力導波路 2 0 4 a と、これらを固定する基板 2 0 6 b と、V 溝 2 0 5 a, 2 1 5 a, 2 2 5 a とを備える。

【 0 2 2 2 】

異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b は、第 1 の光路長部 2 1 3 b と、第 2 の光路長部 2 2 3 b とを含む。第 1 の光路長部 2 1 3 b は、第 2 の実施形態の光分波器 1 0 0 b における第 1 の光路長部 1 1 2 b と同様の特性を有し、第 1 の入力導波路 2 0 1 a からの波長 $1.30\mu\text{m}$ の光をモード干渉させて、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b の出力端（中心線 2 3 3 b から軸ズレした位置）で当該光の光量を極大とさせる。

【 0 2 2 3 】

第 2 の光路長部 2 2 3 b は、第 2 の実施形態の光分波器 1 0 0 b における第 2 の光路長部 1 2 2 b と同様の特性を有し、第 2 の入力導波路 2 0 2 a からの波長 $1.55\mu\text{m}$ の光をモード干渉させて、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b の出力端（中心線 2 3 3 b から軸ズレした位置）で当該光の光量を極大とさせる。

【 0 2 2 4 】

このように、第 9 の実施形態では、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b を用いるので、第 2 の実施形態で説明したように、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b の光路長を $5,000\mu\text{m}$ 以下にすることが可能となる。これにより、光合波器の小型化が可能となる。

【 0 2 2 5 】

なお、第 9 の実施形態においても、第 2 の実施形態の場合と同様（図 8 および図 9 参照）、異光路長マルチモード導波路 2 0 3 b を並行に配置された二個のシングルモード導波路によって構成するようにしてもよい。

【 0 2 2 6 】

（第 1 0 の実施形態）

図 1 8 は、本発明の第 1 0 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 c の構成概要図で

ある。図 1 8 において、第 7 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。光合波器 2 0 0 c は、第 3 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 c の構成を逆にした光合波器である。

【 0 2 2 7 】

光合波器 2 0 0 c は、第 1 の入力導波路 2 0 1 a と、第 2 の入力導波路 2 0 2 a と、多段型マルチモード導波路 2 0 3 c と、出力導波路 2 0 4 a と、これらを固定する基板 2 0 6 c と、V 溝 2 0 5 a , 2 1 5 a , 2 2 5 a とを備える。

【 0 2 2 8 】

多段型マルチモード導波路 2 0 3 c は、第 1 のマルチモード領域部 2 1 3 c と、第 2 のマルチモード領域部 2 2 3 c とを含む。第 1 のマルチモード領域部 2 1 3 c は、第 3 の実施形態の光分波器 1 0 0 c における多段型マルチモード導波路 1 0 2 c の第 2 のマルチモード領域部 1 2 2 c と同様の特性を有する。すなわち、第 1 のマルチモード領域部 2 1 3 c は、第 2 の入力導波路 2 0 2 a からの波長 $1.55\mu\text{m}$ の光をモード干渉させ、第 2 のマルチモード領域 2 2 3 c との境界面で光量が極大となるようにする。

【 0 2 2 9 】

第 2 のマルチモード領域部 2 2 3 c は、第 3 の実施形態の光分波器 1 0 0 c における多段型マルチモード導波路 1 0 2 c の第 1 のマルチモード領域部 1 1 2 c と同様の特性を有する。すなわち、第 2 のマルチモード領域部 2 2 3 c は、波長 $1.30\mu\text{m}$ の光のみをモード干渉させ、出力端面（出力導波路 2 0 4 a の入力端）で光量が極大となるようにする。

【 0 2 3 0 】

このように、第 1 0 の実施形態では、多段型マルチモード導波路 2 0 3 c を用いることによって、第 3 の実施形態の場合と同様、光合波器の小型化を図ることが可能となる。

【 0 2 3 1 】

なお、第 1 0 の実施形態においても、第 3 の実施形態の場合と同様（図 1 0 参照）、多段型マルチモード導波路 2 0 3 c を並行に配置された二個のシングルモード導波路によって構成するようにしてもよい。

【 0 2 3 2 】

(第 1 1 の実施形態)

図 1 9 は、本発明の第 1 1 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 f の構成概要図である。図 1 9 において、第 7 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。光合波器 2 0 0 f は、第 6 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 f の構成を逆にした光合波器である。

【 0 2 3 3 】

光合波器 2 0 0 f は、 n 個の入力導波路 2 0 1 f と、高次マルチモード導波路 2 0 3 f と、出力導波路 2 0 4 a と、これらを固定する基板 2 0 6 f と、 n 個の V 溝 2 0 5 f と、V 溝 2 2 5 a とを備える。なお、入力導波路 2 0 1 f、V 溝 2 0 5 f の参照符号については、図面を見やすくするため、全てに付していない。

【 0 2 3 4 】

高次マルチモード導波路 2 0 3 f は、第 6 の実施形態の光分波器 1 0 0 f におけるマルチモード導波路 1 0 2 f と同様の特性を有する。

【 0 2 3 5 】

このように、第 1 1 の実施形態では、第 1 ～第 n 入力光ファイバから入力される n 種類の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を合波できる光合波器を提供することが可能となる。

【 0 2 3 6 】

なお、高次マルチモード伝播部を、シングルモード導波路で構成してもよい。図 2 0 は、高次マルチモード伝播部 2 1 3 f を n 個のシングルモード導波路 2 2 3 f で構成した光分波器 2 0 1 f の構成概要図である。動作原理は、図 1 2 に示した光分波器 1 0 1 f における光の振る舞いを逆にすれば説明できる。

【 0 2 3 7 】

なお、図 1 9 および図 2 0 で示した光合波器の他、光分波器の場合と同様、図 1 6 ～図 1 8 に示した光合波器の原理を n 波長用に用いてもよい。その場合、マルチモード導波路をシングルモード導波路として用いてもよいことは、いうまでもない。

【 0 2 3 8 】

また、図 1 3 に示した光分波器を光合波器に応用してもよい。この場合、マルチモード導波路の一つの入力端に第 1 の前段マルチモード導波路を設け、他方の入力端に第 2 の前段マルチモード導波路を設けるようにすればよい。

【 0 2 3 9 】

なお、図 2 1 に示すように、光合波器 2 1 0 a のマルチモード導波路 2 1 3 a を電気光学効果を有する材料にして、電圧制御部 1 1 2 および電極 1 1 1 によって、マルチモード導波路 2 1 3 a の屈折率を変化させ、動的に合波比を制御するようにしてもよい。電圧制御部 1 1 2 および電極 1 1 1 については、図 1 4 を用いて説明したものと同様である。

【 0 2 4 0 】

また、図 2 2 に示すように、光合波器 2 2 0 a のマルチモード導波路 2 2 3 a を熱光学効果を有する材料にして、温度制御部 1 2 2 および熱伝導部 1 2 1 によって、マルチモード導波路 2 2 3 a の屈折率を変化させ、動的に合波比を制御するようにしてもよい。温度制御部 1 2 2 および熱伝導部 1 2 1 については、図 1 5 を用いて説明したものと同様である。

【 0 2 4 1 】

次に、上記実施形態で説明した光分波器および光合波器を用いた光デバイスの実施形態について説明する。

【 0 2 4 2 】

(第 1 2 の実施形態)

図 2 3 は、本発明の第 1 2 の実施形態に係る WDM ゲイン調整器 3 0 0 a の構成概要図である。図 2 3 において、WDM ゲイン調整器 3 0 0 a は、図 1 1 に示す光分波器 1 0 0 f と同構成の分波部 3 0 1 a と図 1 9 に示す光合波器 2 0 0 f と同構成の合波部 3 0 2 a と、n 個のゲイン調整部 3 0 3 a と、これらを固定する基板 3 0 6 a と、V 溝 1 0 5 a, 2 0 6 f とを備える。図 2 3 には、主要部における各波長の光量を示す。図 2 3 において、光分波器 1 0 0 f、および光合波器 2 0 0 f と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。

【 0 2 4 3 】

分波部 3 0 1 a は、入力導波路 1 0 1 a と、マルチモード導波路 1 0 2 f と、

n 個の入力側中継導波路 3 1 1 a とを含む。合波部 3 0 2 a は、n 個の出力側中継導波路 3 1 2 a と、マルチモード導波路 2 0 3 f と、出力導波路 2 0 4 a とを含む。

【 0 2 4 4 】

各ゲイン調整部 3 0 3 a は、分波部 3 0 1 a の入力側中継導波路 3 1 1 a からの各波長の光の光量が一定となるようにゲイン調整して、出力側中継導波路 3 1 2 a に供給する。

【 0 2 4 5 】

このように、WDM 伝送している n 種類の波長を全て分波し、各波長毎にゲイン調整した後合波して、再び WDM 伝送に戻すことにより、伝送中にばらついた各波長のゲインを調整して光信号を整えることが可能となる。

【 0 2 4 6 】

なお、外部制御部を設けて、ゲイン調整器を制御して、動的な調整を行うようにしてもよい。

【 0 2 4 7 】

なお、波長毎のゲインのばらつきは光信号の伝送条件で異なるので、分波部 3 0 1 a において各波長のゲインをモニターし、各波長毎に所望のゲインとなるように各ゲイン調整部 3 0 3 a を動的に制御することにより、常に安定した光信号に補正することが可能となる。

【 0 2 4 8 】

なお、各波長のゲインをモニターする場所は、合波部 3 0 6 a でも良く、この場合は、合波部 3 0 6 a の出力が所望のゲインとなるまで補正值をゲイン調整部 3 0 3 a にフィードバックするような構成となる。この場合、外部制御部とモニター部とを設けて、外部制御部がゲイン調整部 3 0 3 a を制御するようにすればよい。

【 0 2 4 9 】

なお、ゲイン調整器の他、ゲイン、各波長の位相または偏光状態の内、少なくとも一つを調整するような調整器を設けても良い。

【 0 2 5 0 】

なお、分波部 3 0 1 a のマルチモード導波路 1 0 2 f、および合波部 3 0 6 a のマルチモード導波路 2 0 3 f を n 個の並行シングルモード導波路で形成しても良い。

【 0 2 5 1 】

(第 1 3 の実施形態)

図 2 4 は、本発明の第 1 3 の実施形態に係る WDM 用アド・ドロップ 3 0 0 b の構成概要図である。図 2 4 において、図 1 に示した光分波器 1 0 0 a および図 1 5 に示した光合波器 2 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。

【 0 2 5 2 】

図 2 4 において、WDM 用アド・ドロップ 3 0 0 b は、第 1 の入力導波路 1 0 1 a と、分波側マルチモード導波路 3 0 1 b と、中継導波路 3 0 2 b と、合波側マルチモード導波路 3 0 3 b と、ドロップ導波路 3 0 4 b と、アド導波路 3 0 5 b と、出力導波路 2 0 4 a と、これらを固定する基板 3 0 6 b と、V 溝 1 0 5 a、2 2 5 a c と、ドロップ光ファイバ 3 7 を固定するための V 溝 3 0 7 b と、アド光ファイバ 3 8 を固定するための V 溝 3 0 8 b とを備える。

【 0 2 5 3 】

分波側マルチモード導波路 3 0 1 b は、第 1 の実施形態の光分波器 1 0 0 a におけるマルチモード導波路 1 0 2 a と同一の特性を有する。合波側マルチモード導波路 3 0 3 b は、第 8 の実施形態の光合波器 2 0 0 a におけるマルチモード導波路 2 0 3 a と同一の特性を有する。

【 0 2 5 4 】

中継導波路 3 0 2 b は、分波側マルチモード導波路 3 0 1 b から出力される波長 $1.30\ \mu\text{m}$ の光を合波側マルチモード導波路 3 0 3 b に中継するための導波路である。ドロップ導波路 3 0 4 b は、分波側マルチモード導波路 3 0 1 b から出力される波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光をドロップ光ファイバ 3 7 に入力するための導波路である。ドロップ光ファイバ 3 7 は、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光を外部に導くための光ファイバである。アド光ファイバ 3 8 は、外部からの光を WDM 用アド・ドロップ 3 0 0 b 内部に導くための光ファイバである。アド導波路 3 0 5 b は、

アド光ファイバ 3 8 から出力される波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の光を合波側マルチモード導波路 3 0 3 b に中継するための導波路である。

【 0 2 5 5 】

WDM用アド・ドロップ 3 0 0 b では、WDM伝送している波長 $1.30\ \mu\text{m}$ および波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の内、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ のみドロップ導波路 3 0 4 b を介して外部に誘導し、外部にて波長 $1.55\ \mu\text{m}$ を受光したり、変調したりした後、アド導波路 3 0 5 b および合波側マルチモード導波路 3 0 3 b を介して再度波長 $1.30\ \mu\text{m}$ に合波してWDM伝送に戻すことで、必要な場所で必要な信号を授受することが可能となる。

【 0 2 5 6 】

なお、ここでは、ドロップする光の波長を $1.55\ \mu\text{m}$ としたが、 $1.30\ \mu\text{m}$ でもよい。

【 0 2 5 7 】

なお、入力光ファイバー 7 と出力光ファイバー 2 7 は、ループ状につながった構成でも良い。

【 0 2 5 8 】

なお、分波側マルチモード導波路 3 0 1 b、および合波側マルチモード導波路 3 0 3 b を 2 個の並行シングルモード導波路で形成しても良い。

【 0 2 5 9 】

(第 1 4 の実施形態)

図 2 5 は、本発明の第 1 4 の実施形態に係る WDM用送受信モジュール 3 0 0 c の構成概要図である。図 2 5 において、第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。

【 0 2 6 0 】

図 2 5 において、WDM用送受信モジュール 3 0 0 c は、第 1 の導波路 3 0 1 c と、図 1 に示した光分波器 1 0 0 a におけるマルチモード導波路 1 0 2 a と同様の特性を有するマルチモード導波路 3 0 2 c と、第 2 の導波路 3 0 3 c と、第 3 の導波路 3 0 4 c と、第 2 の導波路 3 0 3 c の出力端に結合された波長 $1.30\ \mu\text{m}$ 用フォトダイオード 3 0 5 c と、第 3 の導波路 3 0 4 c の出力端に結合さ

れた波長1. 55 μm 用レーザーダイオード307cと、1. 55 μm 用フォトダイオード308cと、これらを固定する基板306cと、入出力光ファイバ47を固定するためのV溝105aとを備える。

【0261】

波長1. 30 μm の光を受信専用とし、波長1. 55 μm の光を送受信用として使用すると、入出力光ファイバ47から入射した波長1. 30 μm の光と波長1. 55 μm の光とは、それぞれ分波される。波長1. 30 μm の光は、第2の導波路303cを介して、1. 30 μm 用フォトダイオード305cに受光される。波長1. 55 μm の光は、第3の導波路304cを介して、1. 55 μm 用フォトダイオード308cに受光される。一方、波長1. 55 μm 用レーザーダイオード308cから第3の導波路304cに入射した波長1. 55 μm の光は、マルチモード導波路302cが合波器（正確には、当該実施形態の場合、電気回路部側から第2の導波路へ入射する波長が無いので第3の導波路304cから第1の導波路301cへスルーする偏向器）として機能して、入出力光ファイバ47へ入力される。

【0262】

このように、第14の実施形態では、波長1. 30 μm および波長1. 55 μm の光を受信し、かつ波長1. 55 μm の光を送信する光デバイスを提供することが可能となる。

【0263】

なお、波長1. 30 μm を送受信用に使用する場合は、波長1. 30 μm 用レーザーダイオードを第2の導波路303cに結合すればよい。

【0264】

なお、ここでは、波長1. 30 μm 用フォトダイオード305cと波長1. 55 μm 用レーザーダイオード307cおよびフォトダイオード308cなどの全ての電気部品がマルチモード導波路302cや光ファイバなどの全ての光部品から完全に分離した構成なので、WDM用送受信モジュールは、電気信号処理回路を電気部品として一体化した電気回路部と、光部品を一体化した光回路部とを集約することとなる。

【 0 2 6 5 】

(第 1 5 の実施形態)

図 2 6 は、本発明の第 1 5 の実施形態に係る WDM 用インターリーバ 3 0 0 d の構成概要図である。図 2 6 において、第 1 の実施形態の光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。図 2 6 において、WDM 用インターリーバ 3 0 0 d は、入力導波路 1 0 1 a と、マルチモード導波路 3 0 1 d と、第 1 の出力導波路 1 0 3 a と、第 2 の出力導波路 1 0 4 a と、これらを固定する基板 1 0 6 a と、V 溝 1 0 5 a, 1 1 5 a, 1 2 5 a とを備える。

【 0 2 6 6 】

マルチモード導波路 3 0 1 d は、 $2n$ ($n=1, 2, \dots$) 種類の等間隔の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_{2n}$ のマルチモードが伝播可能で、第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots$) 波長 λ_{2k-1} (以下、奇数番多重波長光という) の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k-1} 、および第 $2k$ 波長 λ_{2k} (以下、偶数番多重波長光という) の 0 次モードと 1 次モードとの位相差 θ_{2k} について、位相差 θ_{2k-1} と位相差 θ_{2k} との間の差がほぼ π の整数倍となる光路長を有し、使用波長領域において波長と線形関係にある屈折率材料で構成されている。

【 0 2 6 7 】

入力導波路 1 0 1 a、第 1 の出力導波路 1 0 3 a および第 2 の出力導波路 1 0 4 a のマルチモード導波路 3 0 1 d への結合位置については、第 1 の実施形態の場合と同様である。

【 0 2 6 8 】

次に、WDM 用インターリーバ 3 0 0 d における光の振舞いについて説明する。マルチモード導波路の中心線 1 1 2 a から軸ズレした入力導波路 1 0 1 a から入射した $2n$ 種類の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_{2n}$ の奇数番波長のシングルモードは、マルチモード導波路 3 0 1 d において、マルチモード導波路 3 0 1 d に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。そして、モード分散により、奇数番多重波長光の光量は、ある伝播定数で 2 本の並行直線上を順番に移動しながら伝播する。

【 0 2 6 9 】

同様に、偶数番波長のシングルモードも、マルチモード導波路 3 0 1 d において、マルチモード導波路 3 0 1 d に固有の 0 次モードと 1 次モードとに展開される。そして、モード分散により、偶数番多重波長光の光量は、ある伝播定数で上記 2 本の並行直線上を順番に移動しながら伝播する。

【 0 2 7 0 】

奇数番多重波長光と偶数番多重波長光の各波長のモード分散の波長分散により、奇数番多重波長光と偶数番多重波長光の光量移動の伝播定数が異なるため、奇数番多重波長光の光量移動と偶数番多重波長光の光量移動との位相差が逆相（ほぼ π の整数倍）になる光路長で奇数番多重波長光と偶数番多重波長光との光量は、上記 2 本の並行直線上の異なる直線上に分離する。

【 0 2 7 1 】

このように、奇数番多重波長光と偶数番多重波長光との光量が分離する光路長をマルチモード導波路 3 0 1 の光路長とし、奇数番多重波長光と奇数番多重波長光とが分離した各位置近傍にそれぞれ第 1 の出力導波路 1 0 3 a および第 2 の出力導波路 1 0 4 a を設けると、導波路のみの簡単な構成で容易に奇数番多重波長光と偶数番多重波長光とを分波することが可能となる。

【 0 2 7 2 】

なお、光分波器 1 0 0 d のように（図 8 参照）、マルチモード導波路を 2 本の並行シングルモード導波路で形成しても良い。

【 0 2 7 3 】

また、マルチモード導波路 3 0 1 d の長さを短くするために、第 1 の実施形態に対しての第 2 の実施形態または第 3 の実施形態のように、奇数番多重波長光と偶数番多重波長光との出射端に差をつけて、異なる光路長で奇数番多重波長光と偶数番多重波長光との光量移動の位相差をほぼ π の整数倍にしたり、マルチモード導波路 3 0 1 d を入射側から幅の異なる第 1 のマルチモード領域と第 2 のマルチモード領域とで構成することも可能である。

【 0 2 7 4 】

（第 1 6 の実施形態）

図 2 7 は、本発明の第 1 6 の実施形態に係る WDM 用インターリーバ 3 0 0 e

の構成概要図である。図 2 7 において、第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a と同様の機能を有する部分については、同一の参照符号を付す。

【 0 2 7 5 】

図 2 7 において、WDM用インターリーバ 3 0 0 e は、入力導波路 1 0 1 a と、第 1 段マルチモード導波路 3 0 1 e と、第 1 の中継導波路 3 0 2 e と、第 2 の中継導波路 3 0 3 e と、第 1 の第 2 段マルチモード導波路 3 0 4 e と、第 2 の第 2 段マルチモード導波路 3 0 7 e と、第 1 の出力導波路 3 0 8 e と、第 2 の出力導波路 3 0 9 e と、第 3 の出力導波路 3 1 0 e と、第 4 の出力導波路 3 1 1 e と、これらを固定する基板 3 0 6 e と、V 溝 1 0 5 a と、第 1 の出力光ファイバ 5 6 を固定する V 溝 3 0 5 e と、第 2 の出力光ファイバ 5 7 を固定する V 溝 3 1 5 e と、第 3 の出力光ファイバ 5 8 を固定する V 溝 3 2 5 e と、第 4 の出力光ファイバ 5 9 を固定する V 溝 3 3 5 e とを備える。

【 0 2 7 6 】

第 1 段マルチモード導波路 3 0 1 e は、図 2 6 に示した光分波器 3 0 0 d のマルチモード導波路 3 0 1 d と同一の特性を有し、第 $2k-1$ ($k=1, 2, \dots$) 波長 λ_{2k-1} (以下、奇数番多重波長光という) と第 $2k$ 波長 λ_{2k} (以下、偶数番多重波長光という) との光量移動の位相差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する第 1 のインターリーバである。

【 0 2 7 7 】

第 1 の第 2 段マルチモード導波路 3 0 4 e は、第 $4k-3$ 波長 λ_{4k-3} (以下、第 $4k-3$ 番多重波長光という) と第 $4k-1$ 波長 λ_{4k-1} (以下、第 $4k-1$ 番多重波長光という) との光量移動の位相差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する第 2 のインターリーバである。

【 0 2 7 8 】

第 2 の第 2 段マルチモード導波路 3 0 7 e は、第 $4k-2$ 波長 λ_{4k-2} (以下、第 $4k-3$ 番多重波長光という) と第 $4k$ 波長 λ_{4k} (以下、第 $4k$ 番多重波長光という) との光量移動の位相差がほぼ π の整数倍となる光路長を有する第 3 のインターリーバである。

【 0 2 7 9 】

ただし、第1のインターリーバ、第2のインターリーバおよび第3のインターリーバを構成するそれぞれのマルチモード導波路301e, 304e, 307eの屈折率は、波長使用波長領域において波長にほぼ線形である。

【0280】

第1の中継導波路302eは、第1段マルチモード導波路301eからの奇数番多重波長光を第1の第2段マルチモード導波路304eに中継するための導波路である。第2の中継導波路303eは、第1段マルチモード導波路301eからの偶数番多重波長光を第2の第2段マルチモード導波路307eに中継するための導波路である。

【0281】

第1の出力導波路308eは、第4k-3番多重波長光を第1の出力光ファイバ56に供給するための導波路である。第2の出力導波路309eは、第4k-1番多重波長光を第2の出力光ファイバ57に供給するための導波路である。第3の出力導波路310eは、第4k-2番多重波長光を第3の出力光ファイバ58に供給するための導波路である。第4の出力導波路311eは、第4k番波長光を第4の出力光ファイバ59に供給するための導波路である。

【0282】

上記第15の実施形態で説明したように、 $4n$ ($n=1, 2, \dots$) 種類の等波長間隔の波長 ($\lambda_1, \dots, \lambda_{4n}$) は、第1段マルチモード導波路301eにおいて奇数番多重波長光と偶数番多重波長光とに分波される。それぞれの波長の光は、第1の第2段マルチモード導波路304eと第2の第2段マルチモード導波路307eとへ入力する。

【0283】

第1の第2段マルチモード導波路304へ入力された奇数番多重波長光は、第4k-3番多重波長光と第4k-1番多重波長光とに分波される。第2の第2段マルチモード導波路307へ入力された偶数番多重波長光は、第4k-2番多重波長光と第4k番多重波長光とに分波される。

【0284】

このように、WDM用インターリーバ300eは、最終的に $4n$ ($n=1, 2$

， …）種類の等間隔の波長 λ_1 ， … λ_{4n} を、それぞれ波長が等間隔に存在する 4 種類の波長群に分割する。

【 0 2 8 5 】

なお、各マルチモード導波路 3 0 1 e， 3 0 4 e， 3 0 7 e の屈折率は、波長使用波長領域において波長にほぼ線形なので、マルチモード導波路 3 0 4 e の光路長とマルチモード導波路 3 0 5 e の光路長とは等しい。

【 0 2 8 6 】

なお、各マルチモード導波路 3 0 1 e， 3 0 4 e， 3 0 7 e は、それぞれ 2 個の並行シングルモード導波路で形成しても良い。

【 0 2 8 7 】

なお、上記第 1 5 の実施形態および第 1 6 の実施形態に記載のインターリーバは、全てマルチモード導波路でのモード分散と波長分散とを固定、すなわち、屈折率が一定であるとしたが、インターリーバのマルチモード導波路の材料を電気光学効果を有する材料にしたり、熱光学効果を有する材料にしたりして、動的に分波比（インターリーバの場合、奇数番波長と偶数番波長の光量比）を制御するようにしてもよい。この場合の制御構成は、図 1 4， 1 5 で示した光分波器と 1 0 1 a， 1 0 2 a と同様である。上記電気光学効果を有する材料や熱光学効果を有する材料は、屈折率変化時においても屈折率は使用波長領域において波長に線形である必要がある。

【 0 2 8 8 】

なお、上記第 1 2 ～第 1 6 の実施形態で用いたマルチモード導波路を小型化するために、第 2、第 3、および第 5 の実施形態で用いたマルチモード導波路 1 0 2 b， 1 0 2 c や、マルチモード伝播部 1 0 2 e を用いてもよいことは、いうまでもない。

【 0 2 8 9 】

以上述べたことから明らかなように、本発明は、従来と同性能を維持しつつ、誘電体多層膜フィルターを必要とせず、導波路のみの簡単な構成で分波器・合波器を実現することができるという効果を有するものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 a の構成概要図である。

【図 2】

光分波器 1 0 0 a において、 $1.30\mu\text{m}$ の光と $1.55\mu\text{m}$ の光とが分離する様子を示す BPM (Beam Propagation Method) によるシミュレーション結果である。

【図 3】

マルチモード導波路 1 0 2 a 中を伝搬する各波長の詳細な光量を示す BPM によるシミュレーション結果を示す図である。

【図 4】

光量移動位相差をほぼ π の整数倍とした根拠を説明するための図である。

【図 5】

マルチモード導波路出力端での光量分布を示す図である。

【図 6】

本発明の第 2 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 b の構成概要図である。

【図 7】

本発明の第 3 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 c の構成概要図である。

【図 8】

本発明の第 4 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 d の構成概要図である。

【図 9】

ダミーシングルモード導波路をつないだ光分波器 1 0 1 d の構成概要図である。

【図 1 0】

本発明の第 5 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 e の構成概要図である。

【図 1 1】

本発明の第 6 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 f の構成概要図である。

【図 1 2】

第 6 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 f のマルチモード導波路 1 0 2 f を n 本のシングルモード導波路 1 2 2 f (# 1) ~ (# n) に置き換えた光分波器 1 0

1 f の構成概要図である。

【図 1 3】

本発明の第 7 の実施形態に係る光分波器 1 0 0 g の構成概要図である。

【図 1 4】

電気光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光分波器 1 0 1 a の構成概略図である。

【図 1 5】

熱光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光分波器 1 0 2 a の概略構成図である。

【図 1 6】

本発明の第 8 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 a の構成概要図である。

【図 1 7】

本発明の第 9 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 b の構成概要図である。

【図 1 8】

本発明の第 1 0 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 c の構成概要図である。

【図 1 9】

本発明の第 1 1 の実施形態に係る光合波器 2 0 0 f の構成概要図である。

【図 2 0】

高次マルチモード伝播部 2 1 3 f を n 個のシングルモード導波路 2 2 3 f で構成した光分波器 2 0 1 f の構成概要図である。

【図 2 1】

電気光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光合波器 2 1 0 a の構成概略図である。

【図 2 2】

熱光学効果を利用してマルチモード伝播部の屈折率を変化させる光合波器 2 2 0 2 a の概略構成図である。

【図 2 3】

本発明の第 1 2 の実施形態に係る WDM ゲイン調整器 3 0 0 a の構成概要図である。

【図 2 4】

本発明の第 1 3 の実施形態に係る WDM 用 アド・ドロップ 3 0 0 b の構成概要図である。

【図 2 5】

本発明の第 1 4 の実施形態に係る WDM 用 送受信 モジュール 3 0 0 c の構成概要図である。

【図 2 6】

本発明の第 1 5 の実施形態に係る WDM 用 インターリーバ 3 0 0 d の構成概要図である。

【図 2 7】

本発明の第 1 6 の実施形態に係る WDM 用 インターリーバ 3 0 0 e の構成概要図である。

【符号の説明】

1 0 0 a, 1 0 0 b, 1 0 0 c, 1 0 0 d, 1 0 1 d, 1 0 0 e, 1 0 0 f,
1 0 1 f, 1 0 1 g, 1 0 1 a 光分波器
1 0 1 a, 2 0 1 f 入力導波路
1 0 2 a, 1 0 2 f, 1 1 2 a, 1 2 2 a, 2 0 3 a, 2 1 3 a, 2 2 3 a,
3 0 2 c, 3 0 1 d マルチモード導波路
1 0 3 a, 1 0 8 g 第 1 の出力導波路
1 0 4 a, 1 0 9 g 第 2 の出力導波路
1 1 2 a, 1 3 2 b, 1 3 2 c, 1 4 2 c, 1 3 2 d, 1 1 2 f, 1 1 2 g,
1 1 5 g, 1 1 7 g, 2 1 3 a, 2 3 3 b 中心線
7 入力用光ファイバ
8 第 1 の出力用光ファイバ
9 第 2 の出力用光ファイバ
1 0 2 b, 2 0 3 b 異光路長マルチモード導波路
1 1 2 b, 2 1 3 b 第 1 の光路長部
1 2 2 b, 2 2 3 b 第 2 の光路長部
1 0 2 c 多段型マルチモード導波路

- 1 1 2 c 第 1 のマルチモード領域部
- 1 2 2 c 第 2 のマルチモード領域部
- 1 0 2 d マルチモード伝播部
- 1 1 2 d, 1 1 2 e 第 1 のシングルモード導波路
- 1 2 2 d, 1 2 2 e 第 2 のシングルモード導波路
- 1 1 1 d ダミーシングルモード導波路
- 1 0 2 e, 2 0 3 c 多段型マルチモード伝播部
- 1 5 2 e, 2 1 3 c 第 1 のマルチモード領域部
- 1 6 2 e, 2 2 3 c 第 2 のマルチモード領域部
- 1 3 2 e 第 3 のシングルモード導波路
- 1 4 2 e 第 4 のシングルモード導波路
- 1 0 3 f, 2 0 4 a 出力導波路
- 1 1 2 f, 2 1 3 f 高次マルチモード伝播部
- 1 2 2 f, 2 3 3 f シングルモード導波路
- 1 0 2 g 第 1 のマルチモード導波路
- 1 0 5 g 第 2 のマルチモード導波路
- 1 0 7 g 第 3 のマルチモード導波路
- 1 0 3 g 第 1 の中継導波路
- 1 0 4 g 第 2 の中継導波路
- 1 1 1 電極
- 1 1 2 電圧制御部
- 1 2 1 熱伝導部
- 1 2 2 温度制御部

2 0 0 a, 2 0 0 b, 2 0 0 c, 2 0 0 f, 2 0 1 f, 2 1 0 a, 2 2 0 a

光合波器

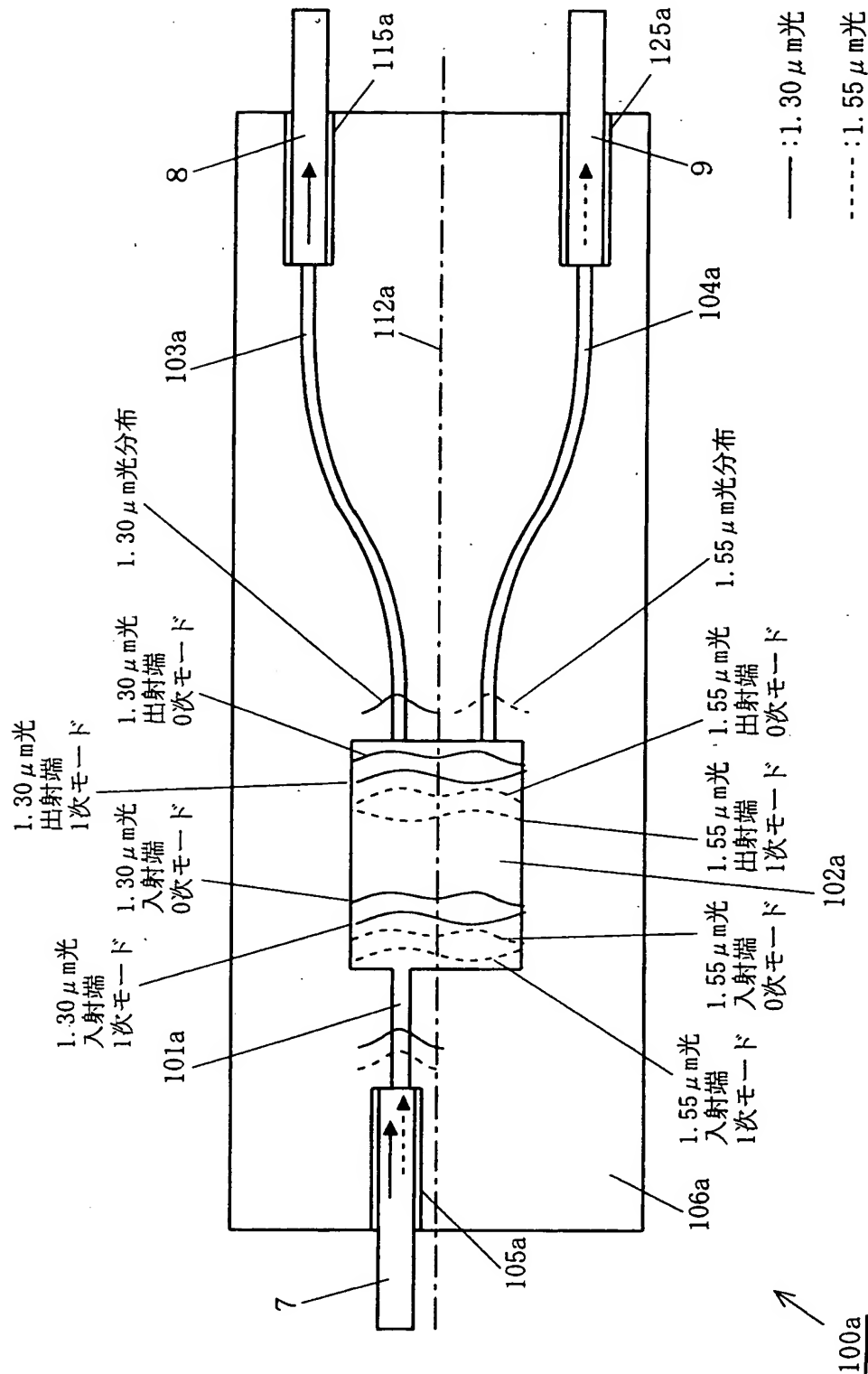
- 2 0 1 a 第 1 の入力導波路
- 2 0 2 a 第 2 の入力導波路
- 2 0 3 f 高次マルチモード導波路
- 3 0 0 a WDM用ゲイン調整器

- 3 0 3 a ゲイン調整部
- 3 0 0 b WDM用アドドロップ
- 3 0 1 b 分波側マルチモード導波路
- 3 0 3 b 合波側マルチモード導波路
- 3 0 2 b 中継導波路
- 3 0 4 b ドロップ導波路
- 3 0 5 b アド導波路
- 3 0 0 c WDM用送受信モジュール
- 3 0 5 c, 3 0 8 c フォトダイオード
- 3 0 7 c レーザダイオード
- 3 0 0 d, 3 0 0 e WDM用インターリーバ
- 3 0 1 e 第1段マルチモード導波路
- 3 0 4 e 第1の第2段マルチモード導波路
- 3 0 7 e 第2の第2段マルチモード導波路

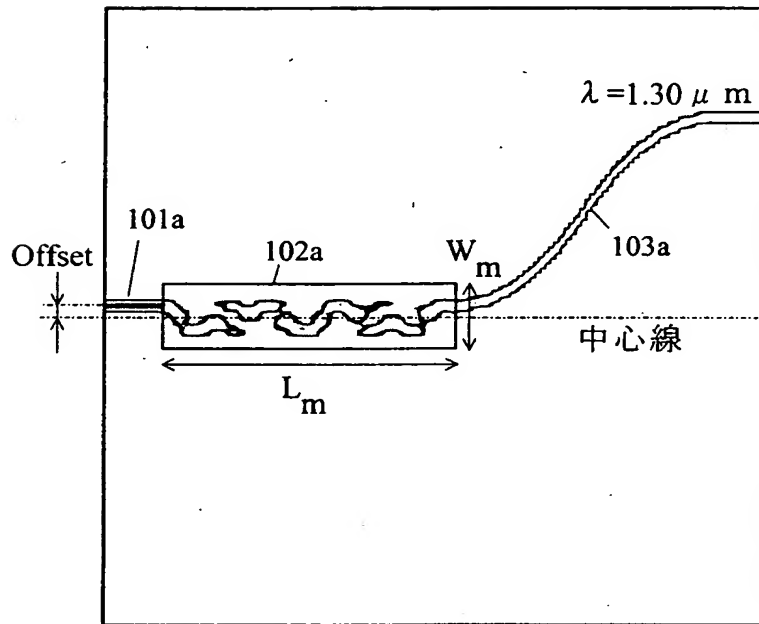
【書類名】

図面

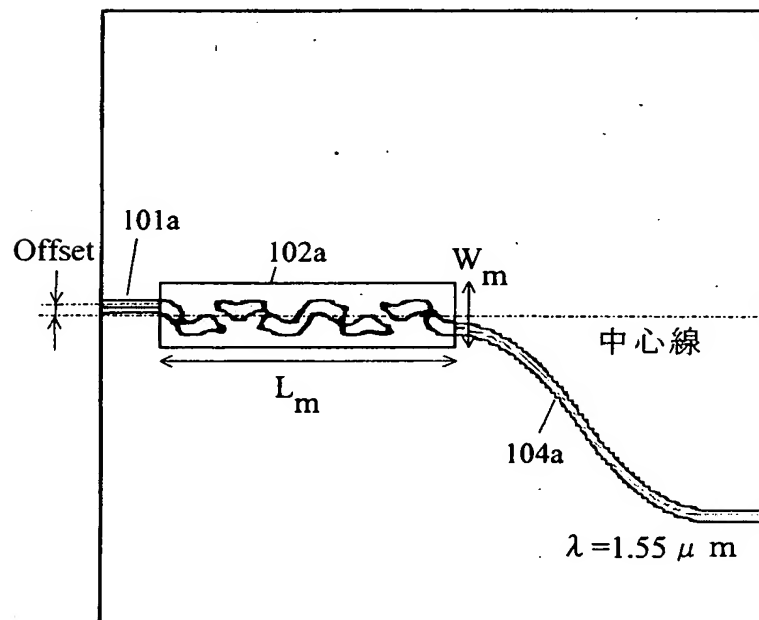
【図 1】



【図 2】



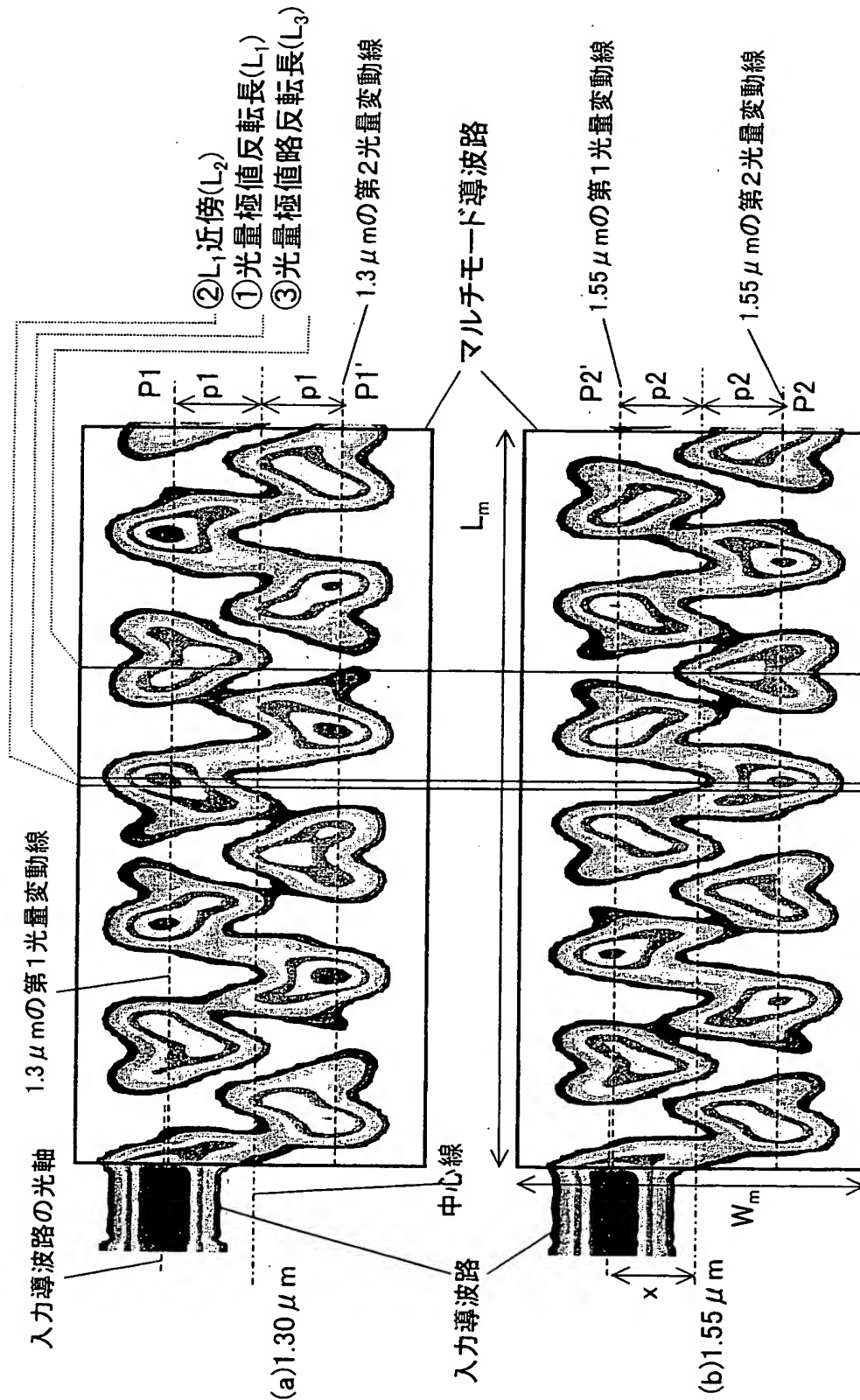
(a) 波長：1.30 μm



(b) 波長：1.55 μm

分波器のBPMシミュレーション結果（フィールド分布）
 (W_m =約 $19.5 \mu\text{m}$, L_m =約 $6550 \mu\text{m}$, Offset=約 $5.7 \mu\text{m}$)

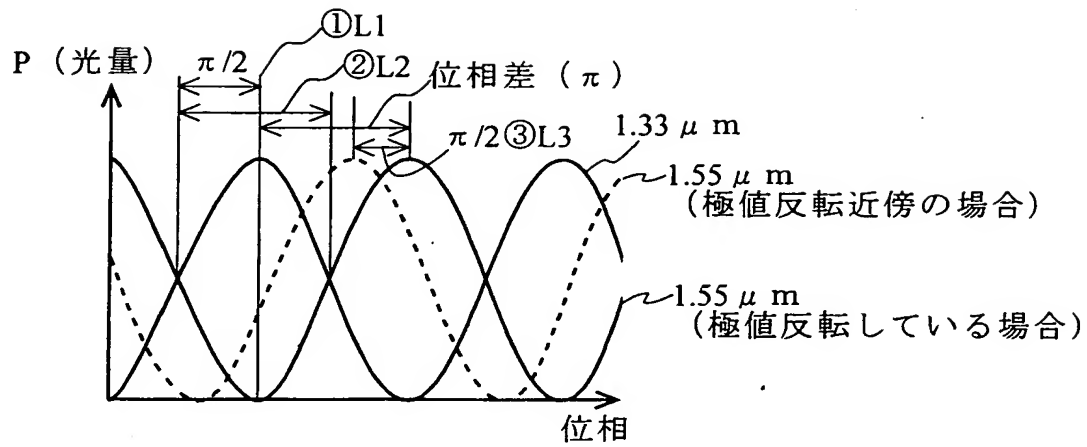
【図 3】



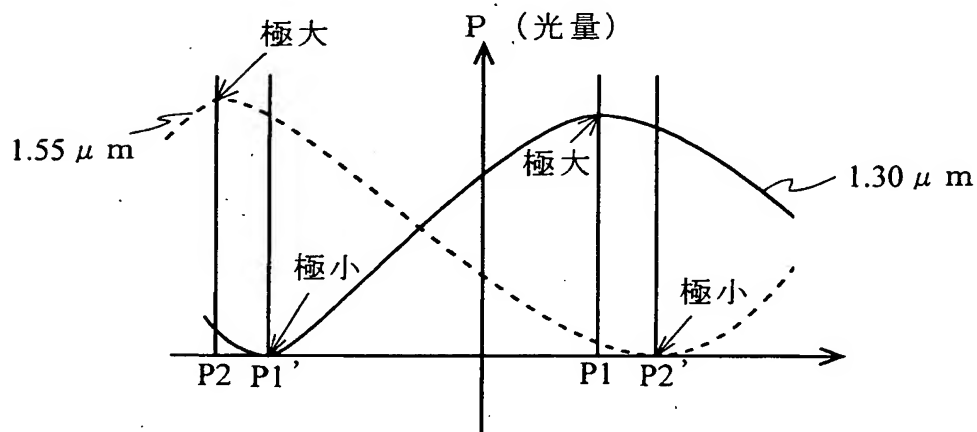
モード干渉のBPMシミュレーション結果(フィールド分布)

(W_m = 約19.5 μm , L_m = 約10,000 μm , x = 約5.7 μm , $p1$ = 約4.6 μm , $p2$ = 約5.1 μm)

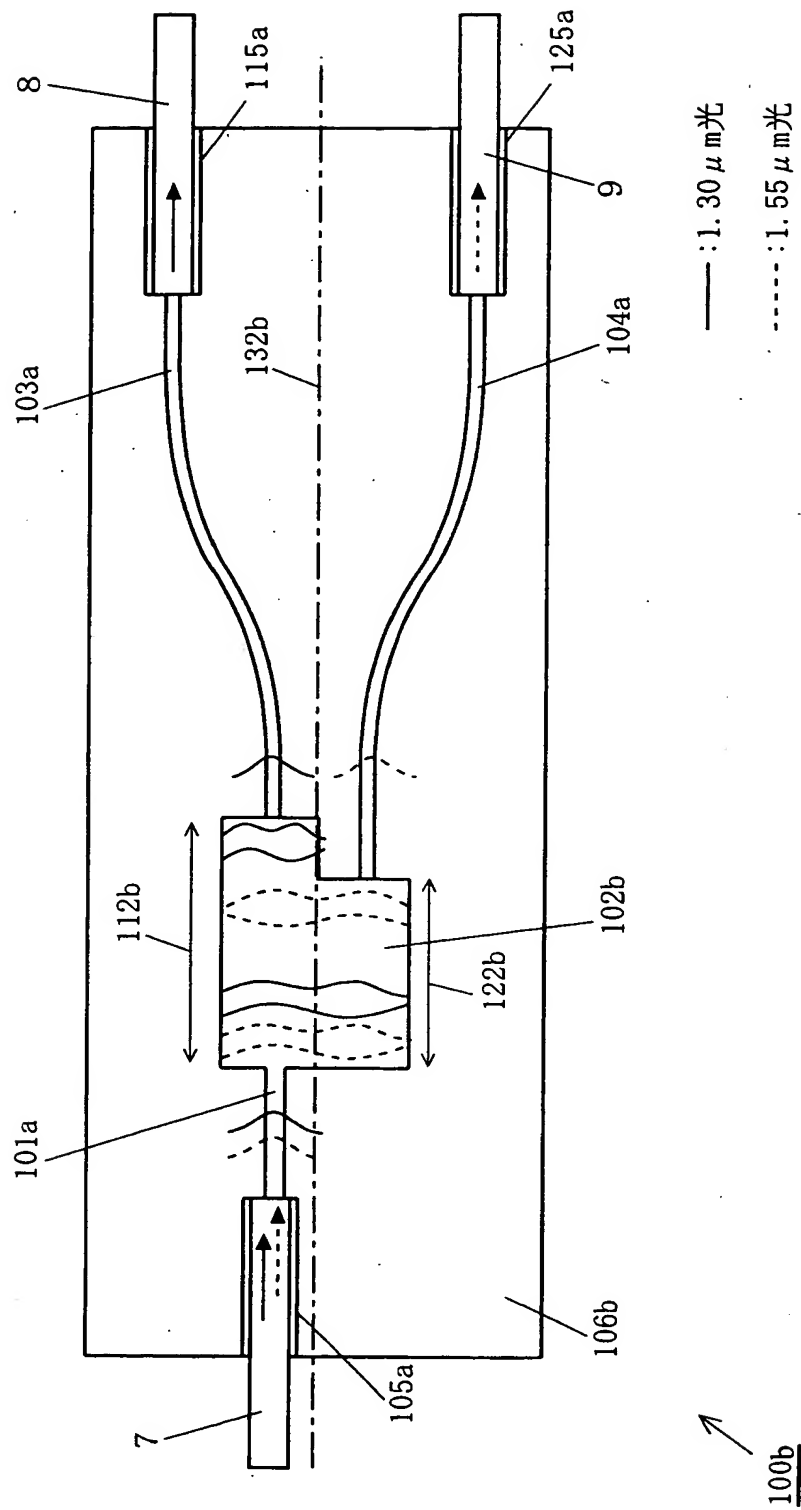
【図 4】



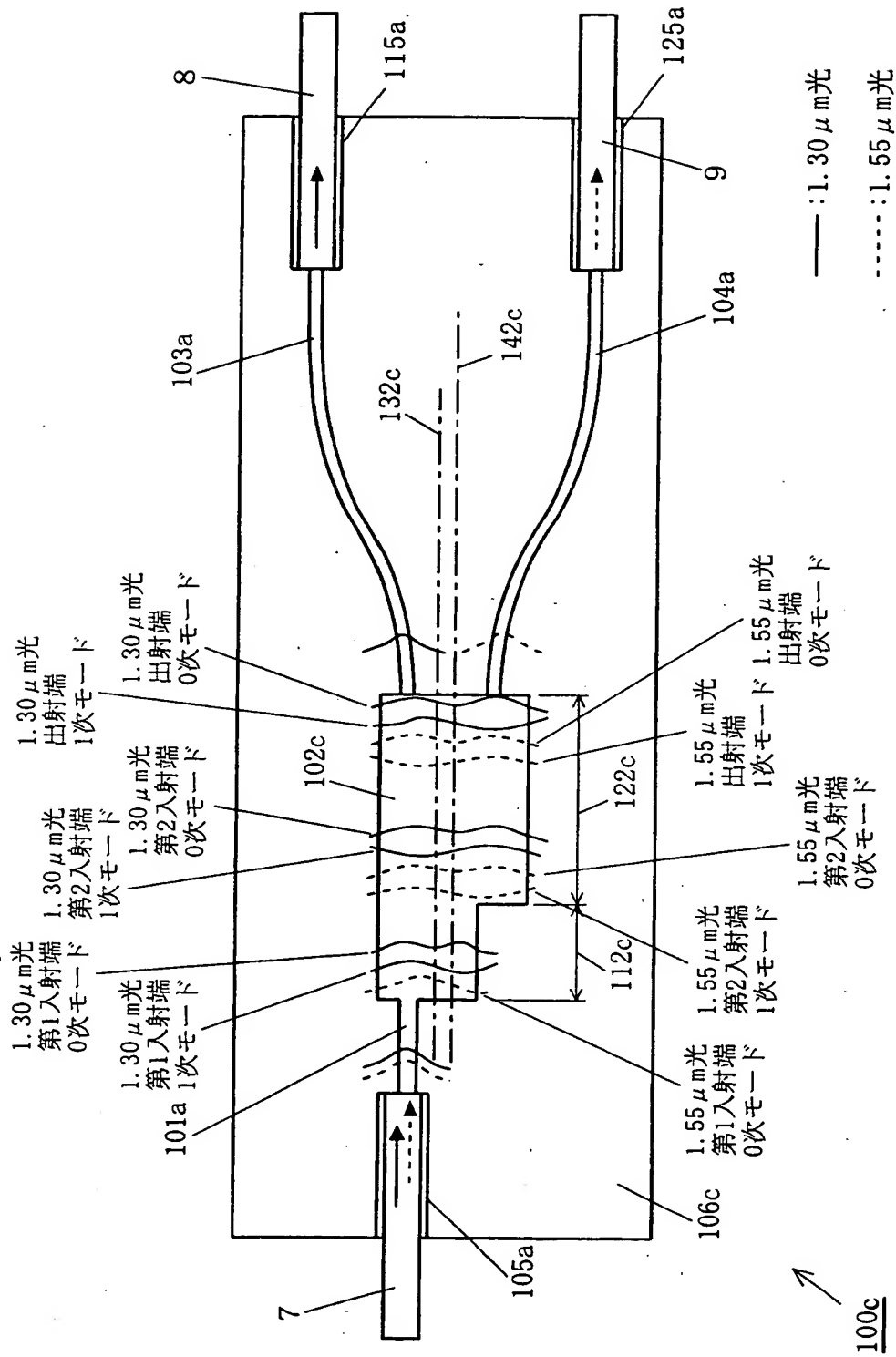
【図 5】



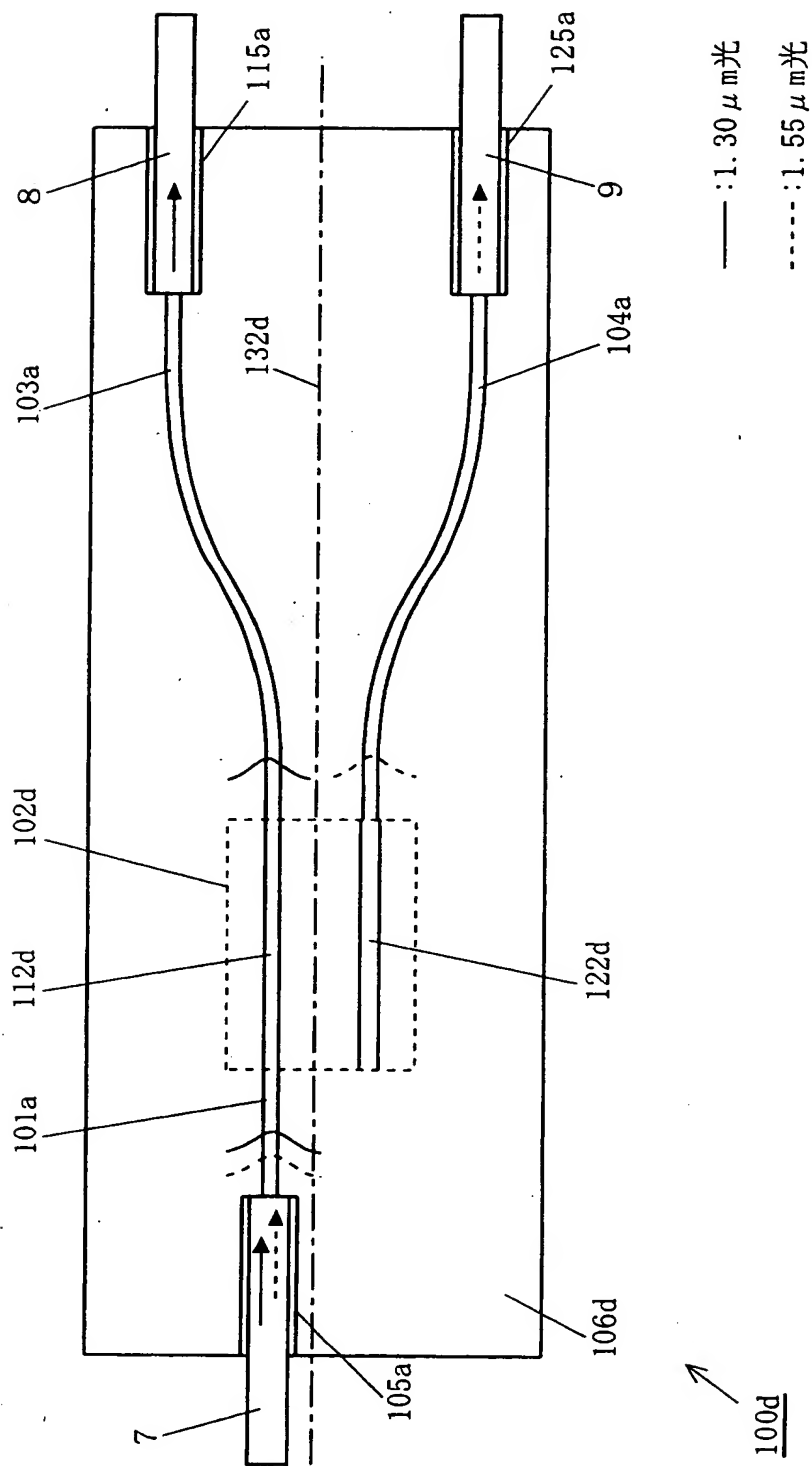
【図 6】



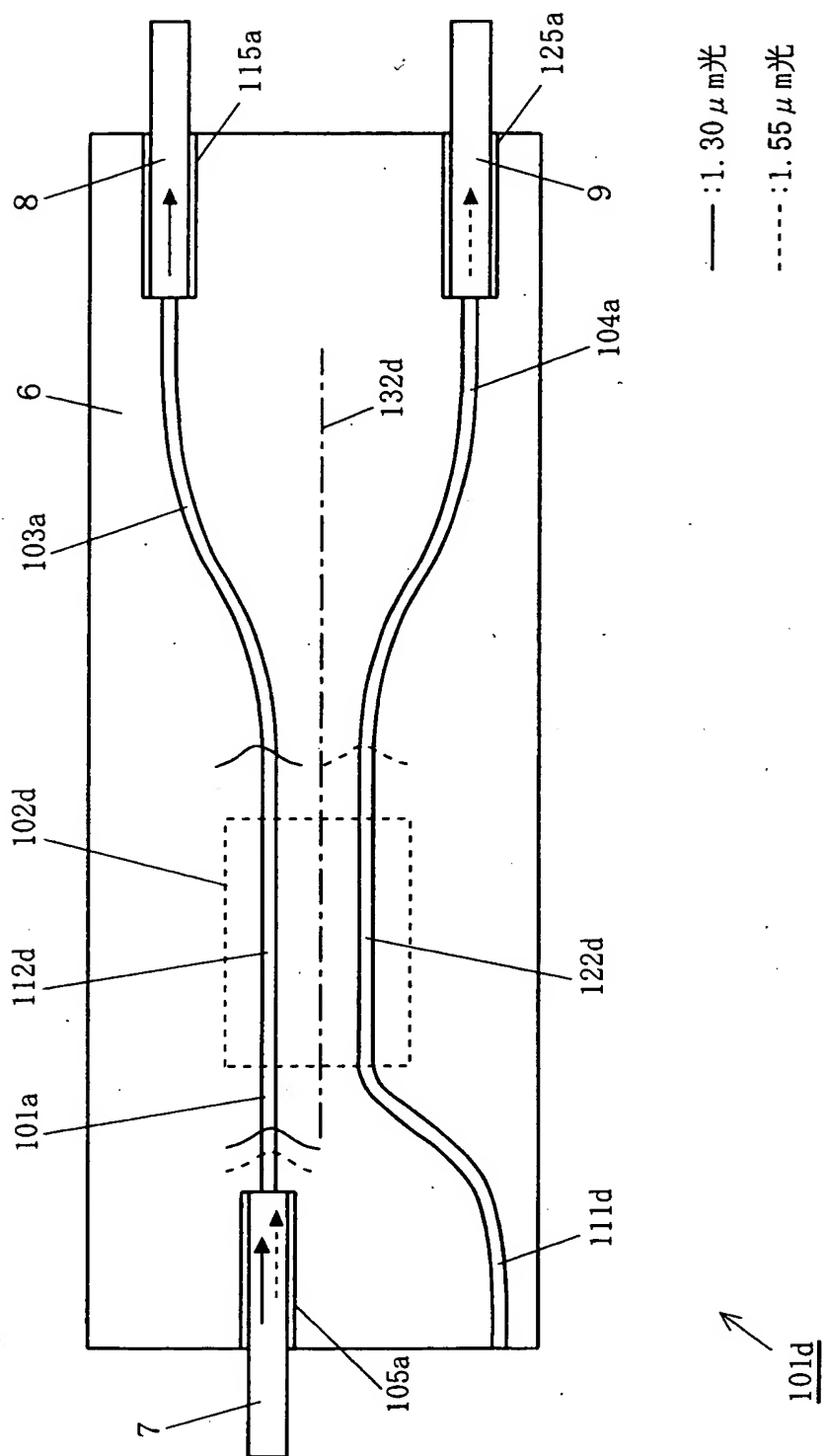
【図 7】



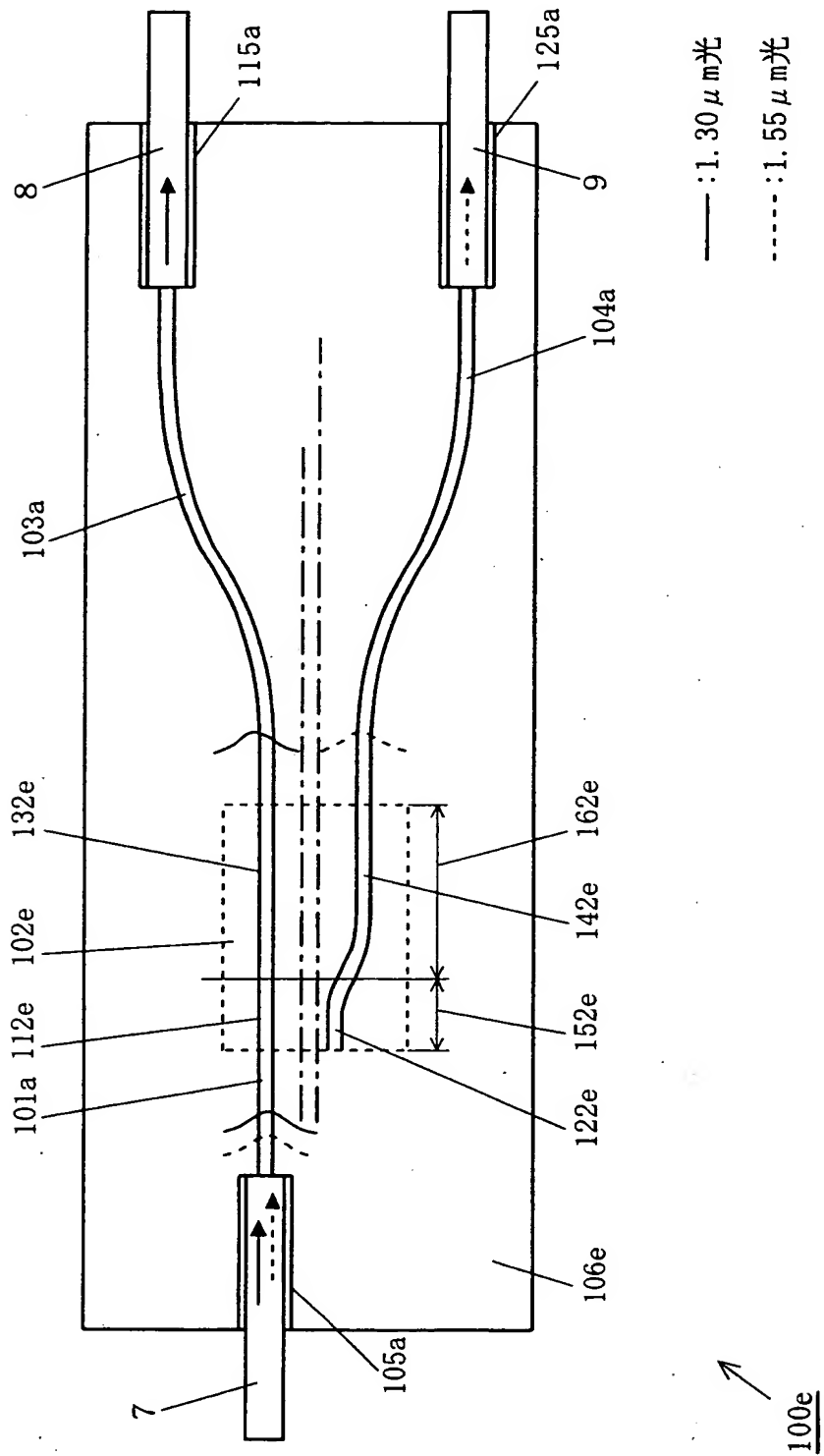
【図 8】



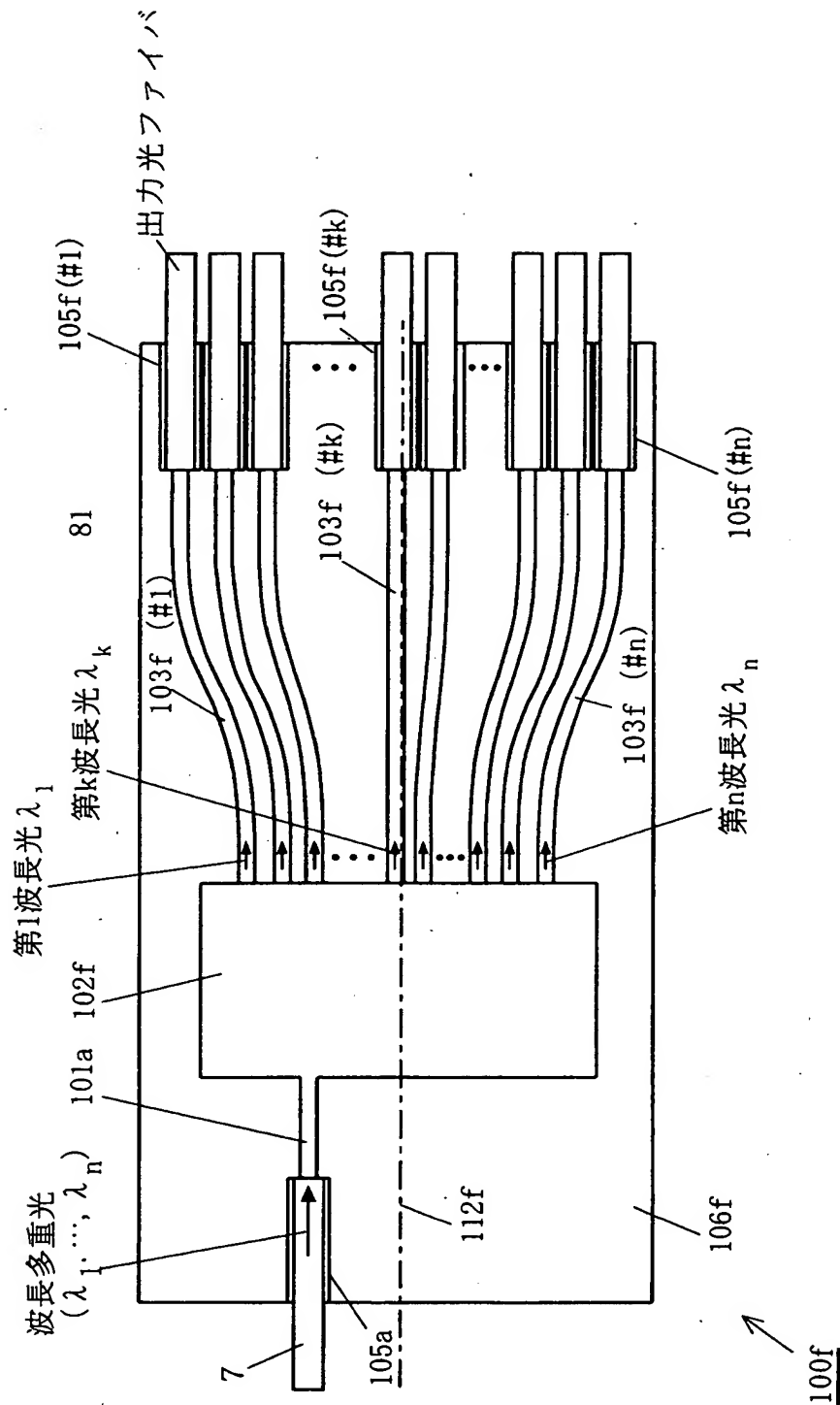
【図 9】



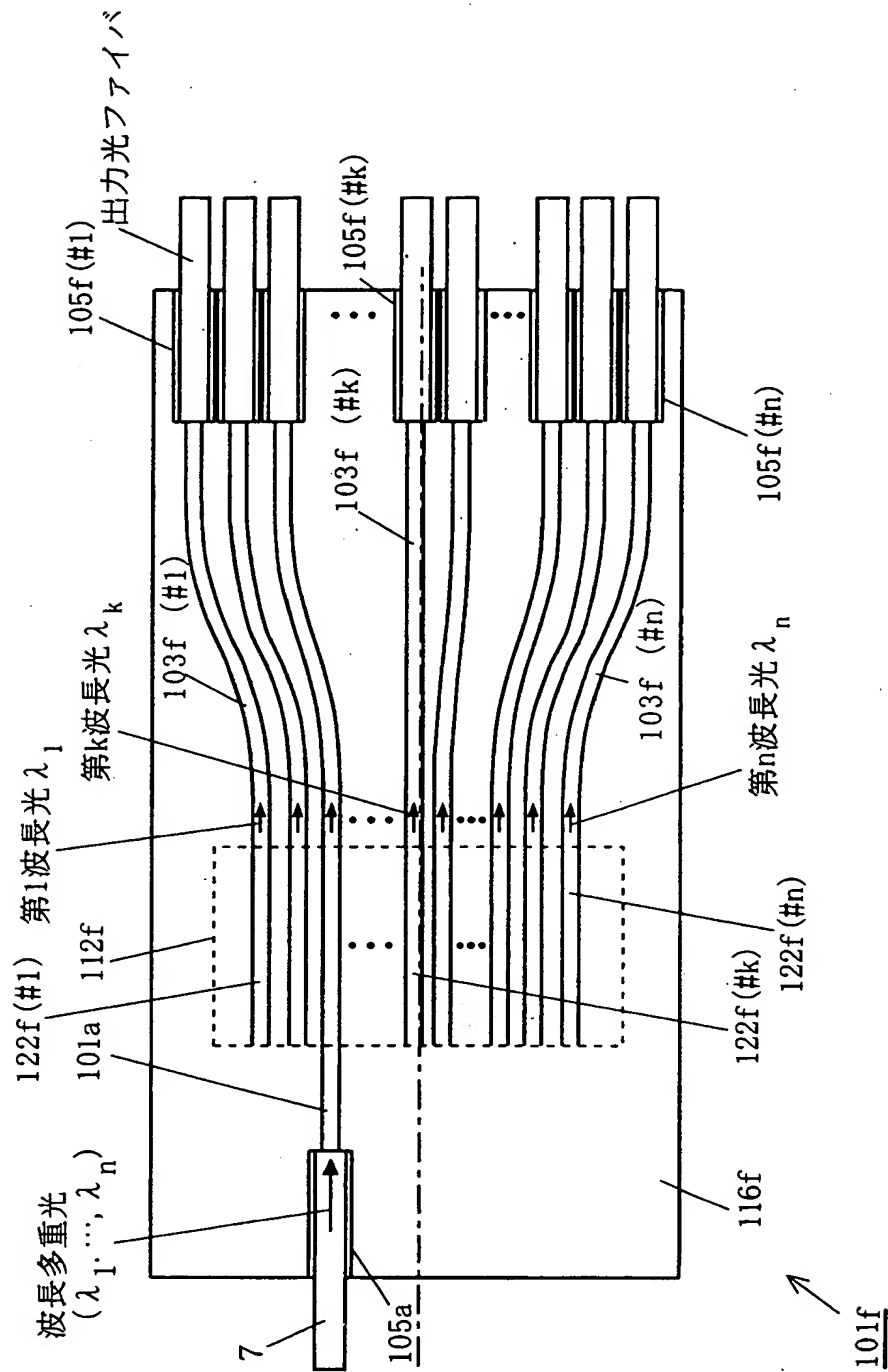
【図10】



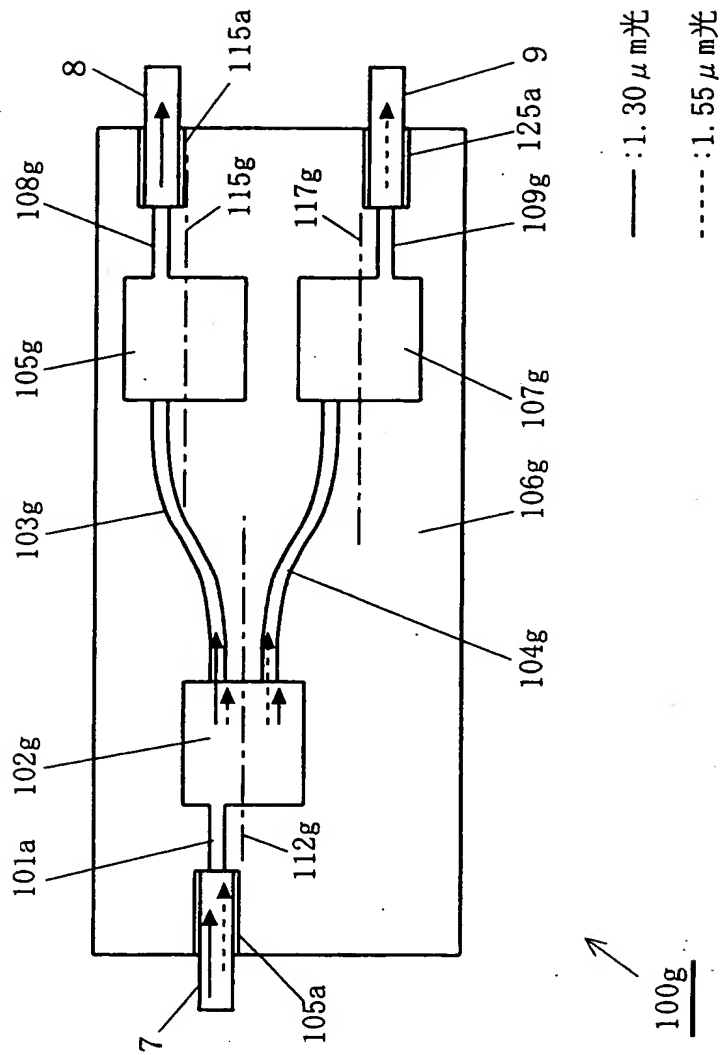
【図11】



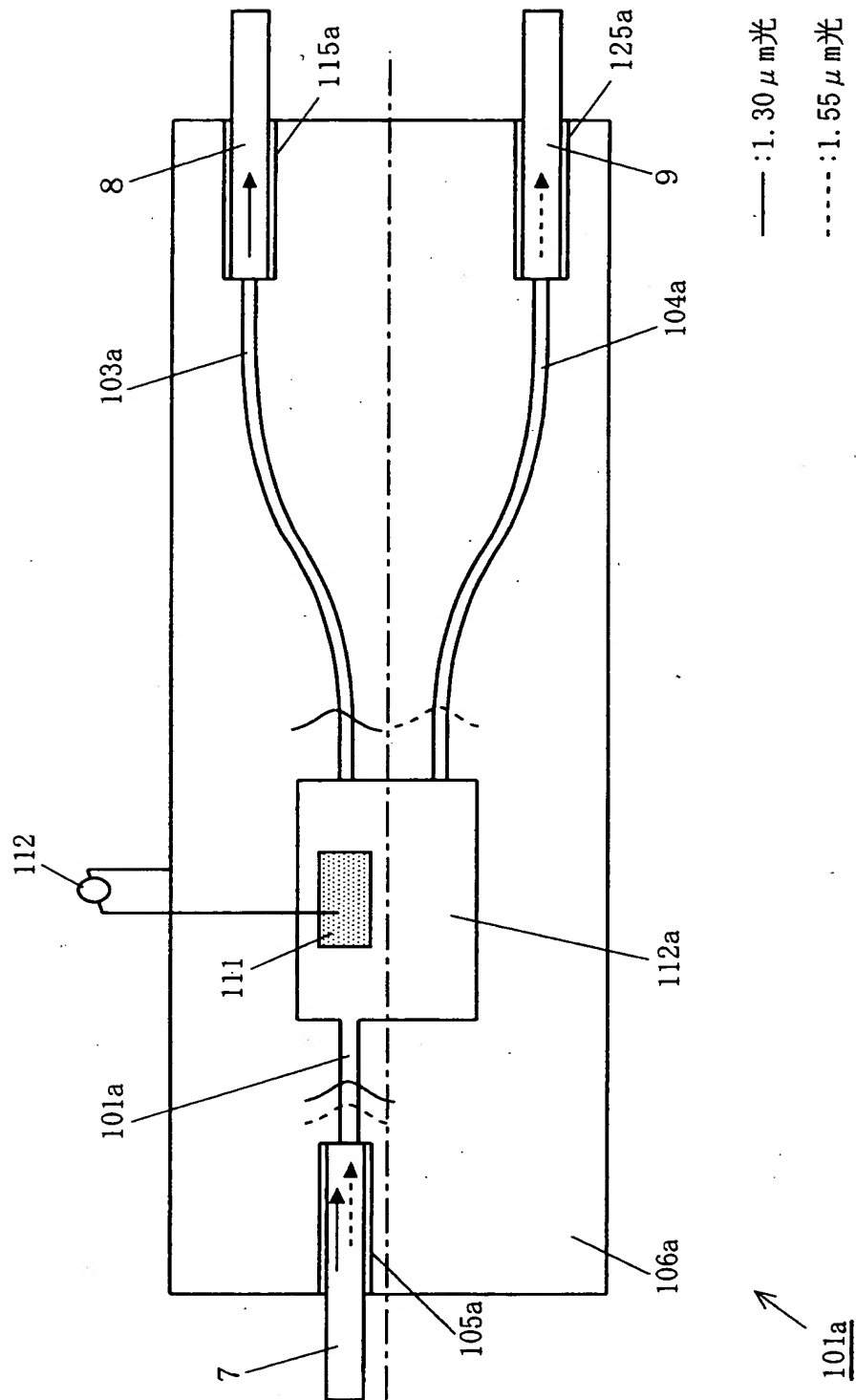
【図 12】



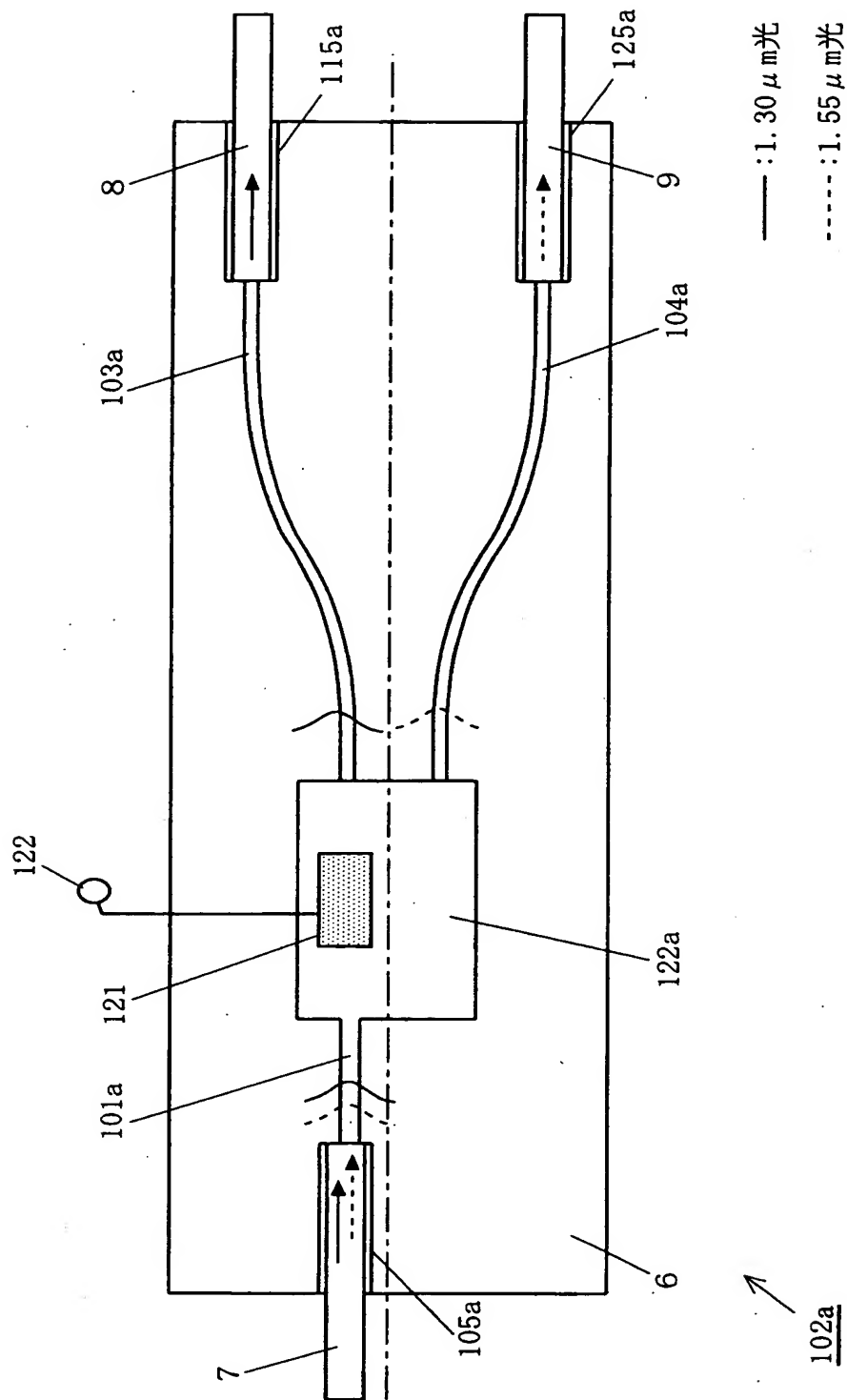
【図 1 3】



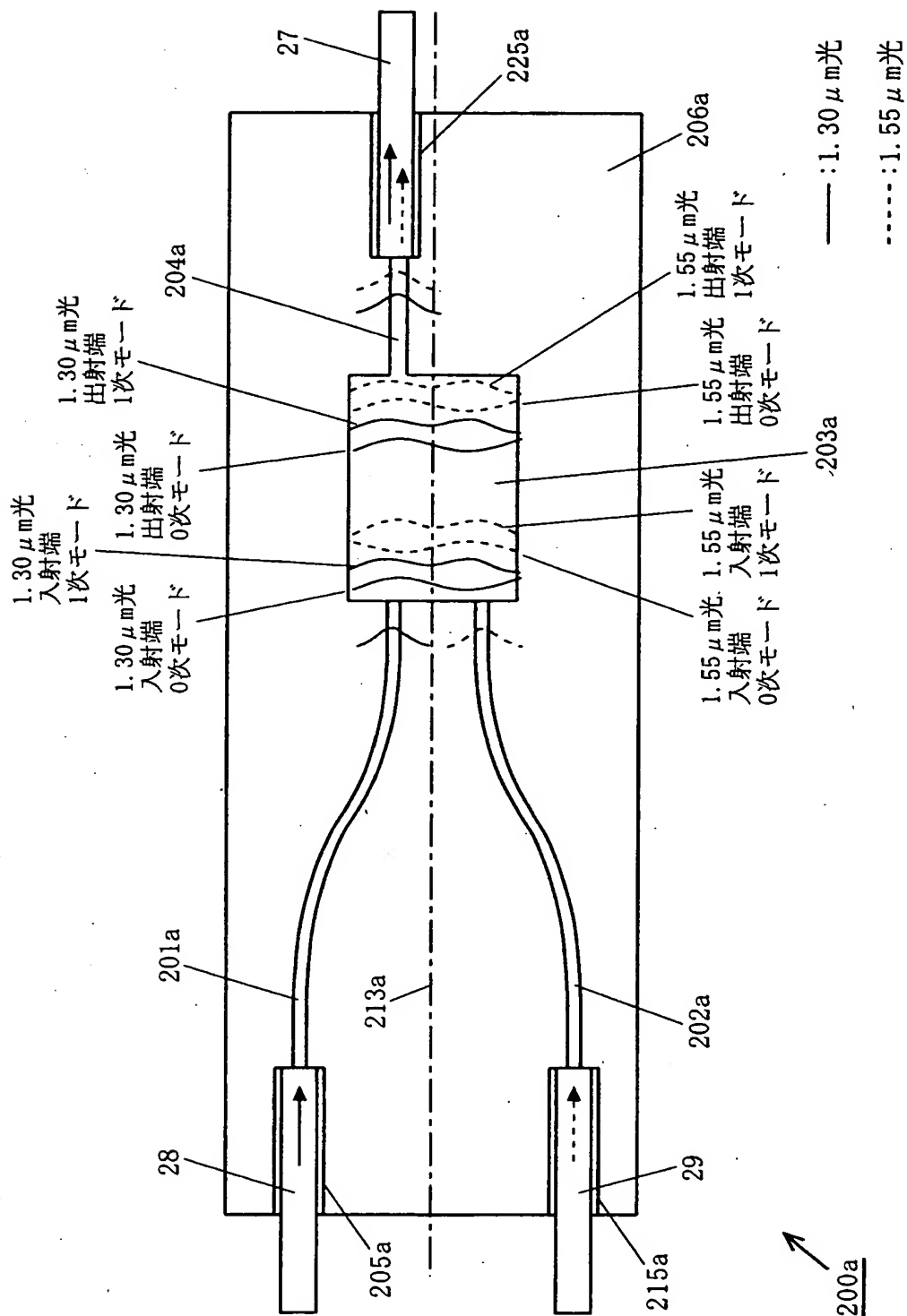
【図 14】



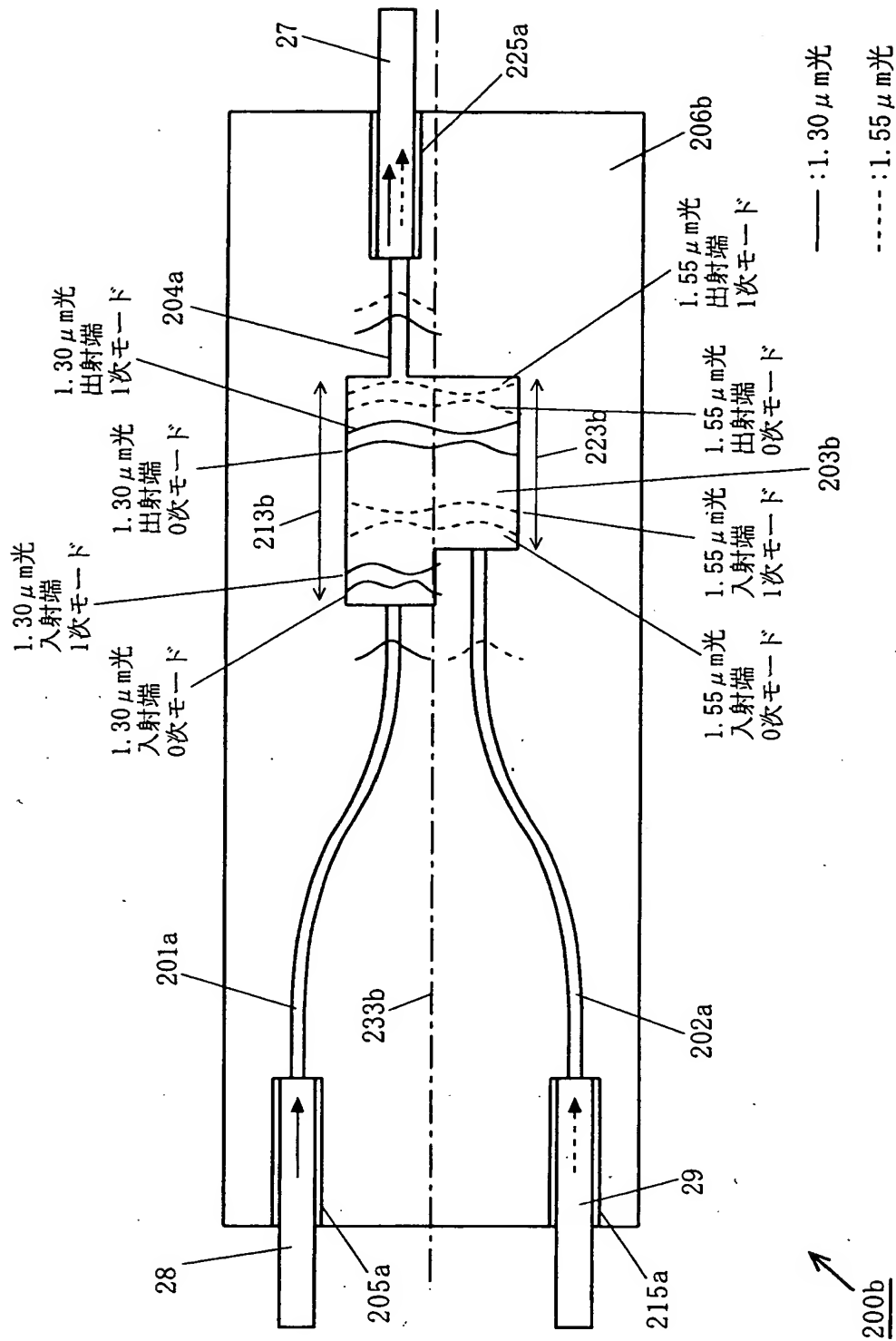
【図 1 5.】



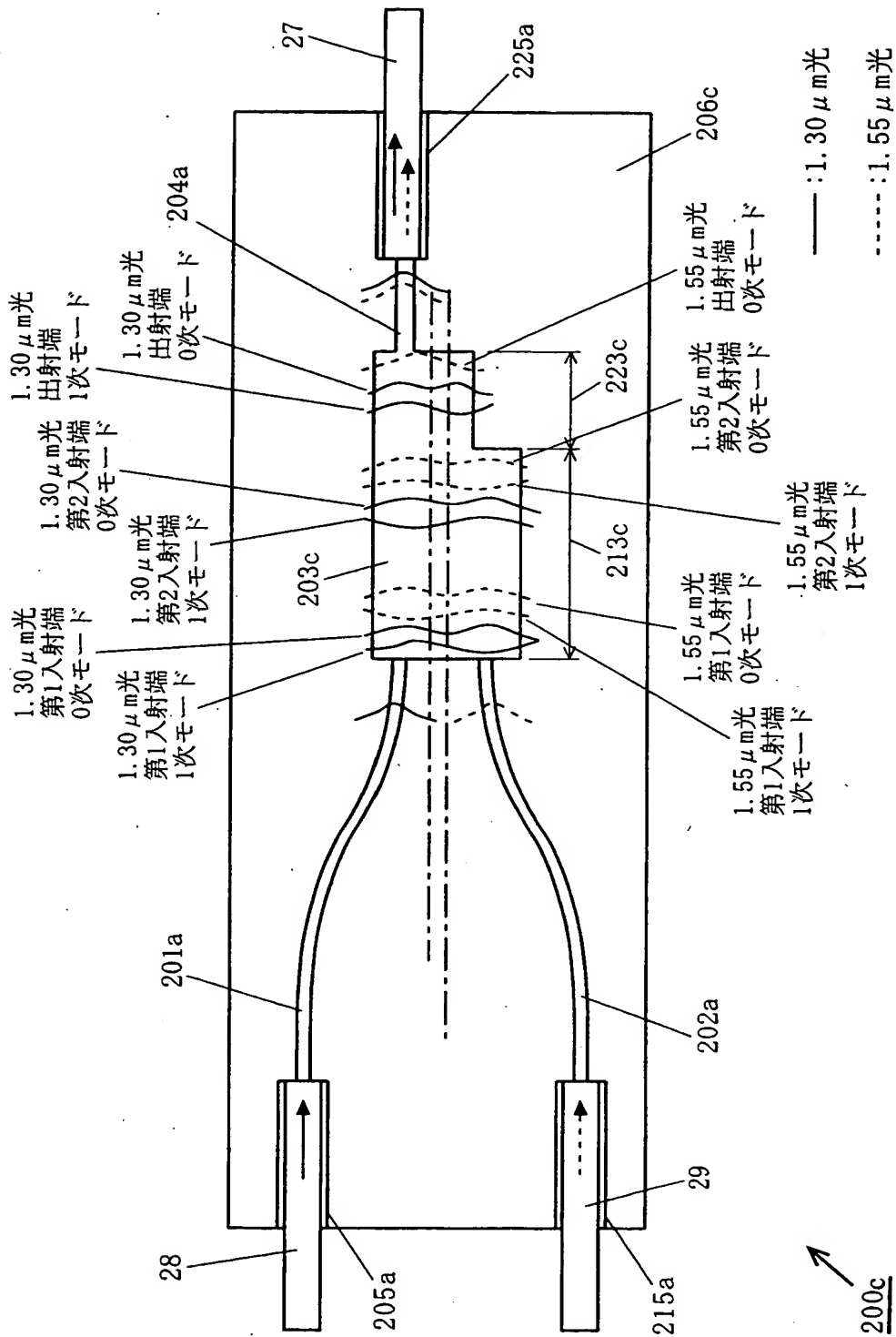
【図 16】



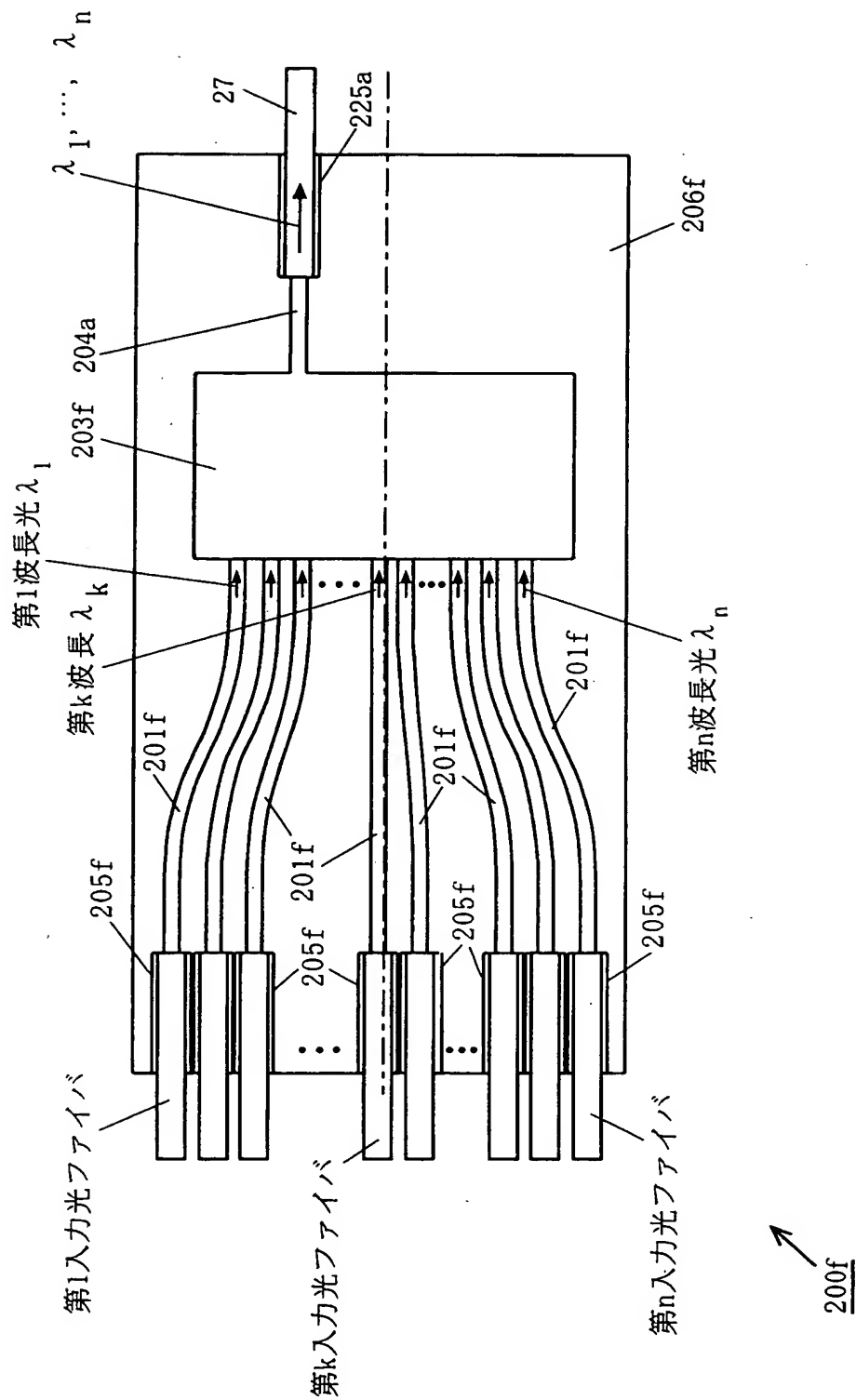
【図17】



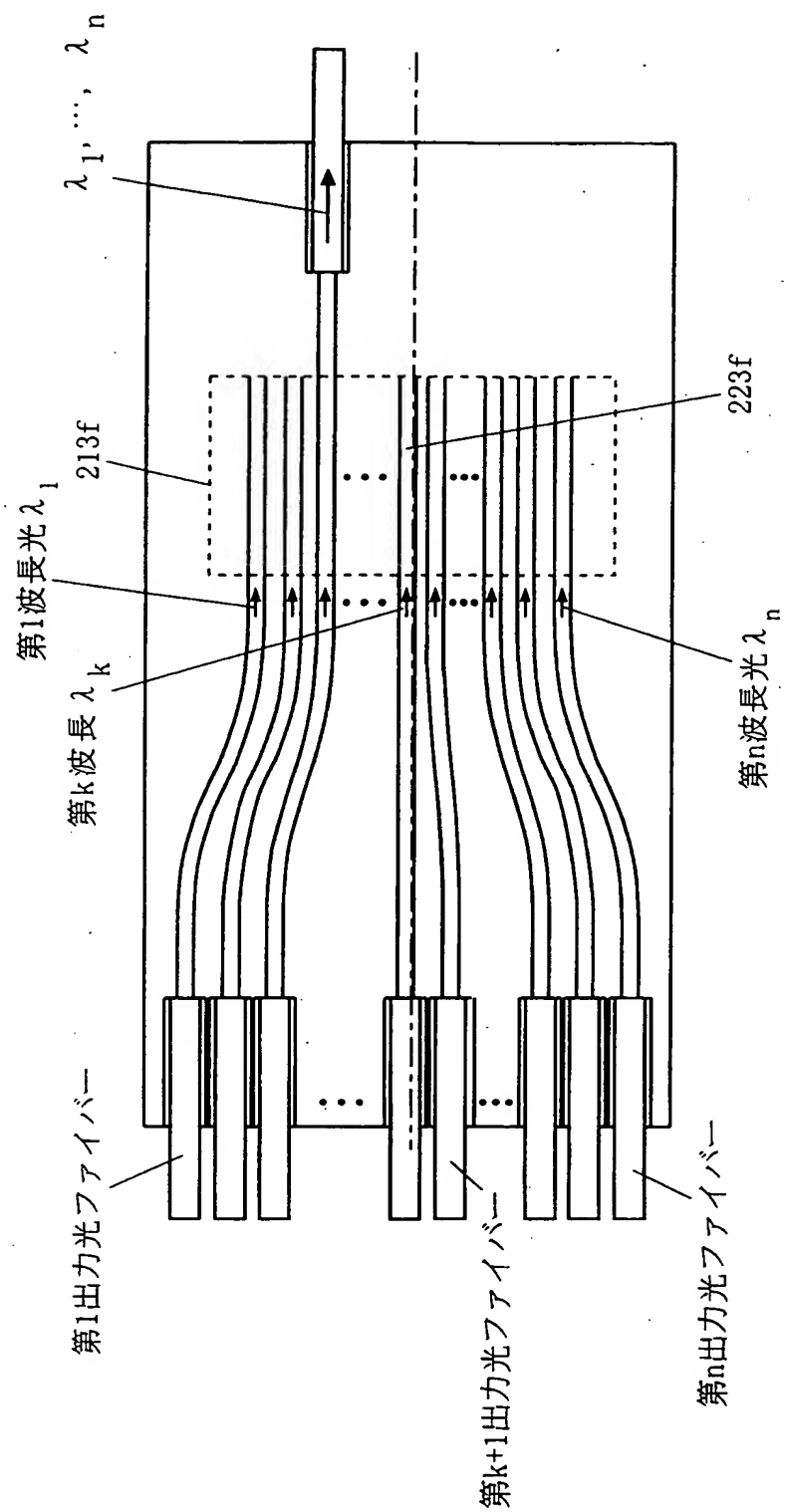
【図 18】



【図19】

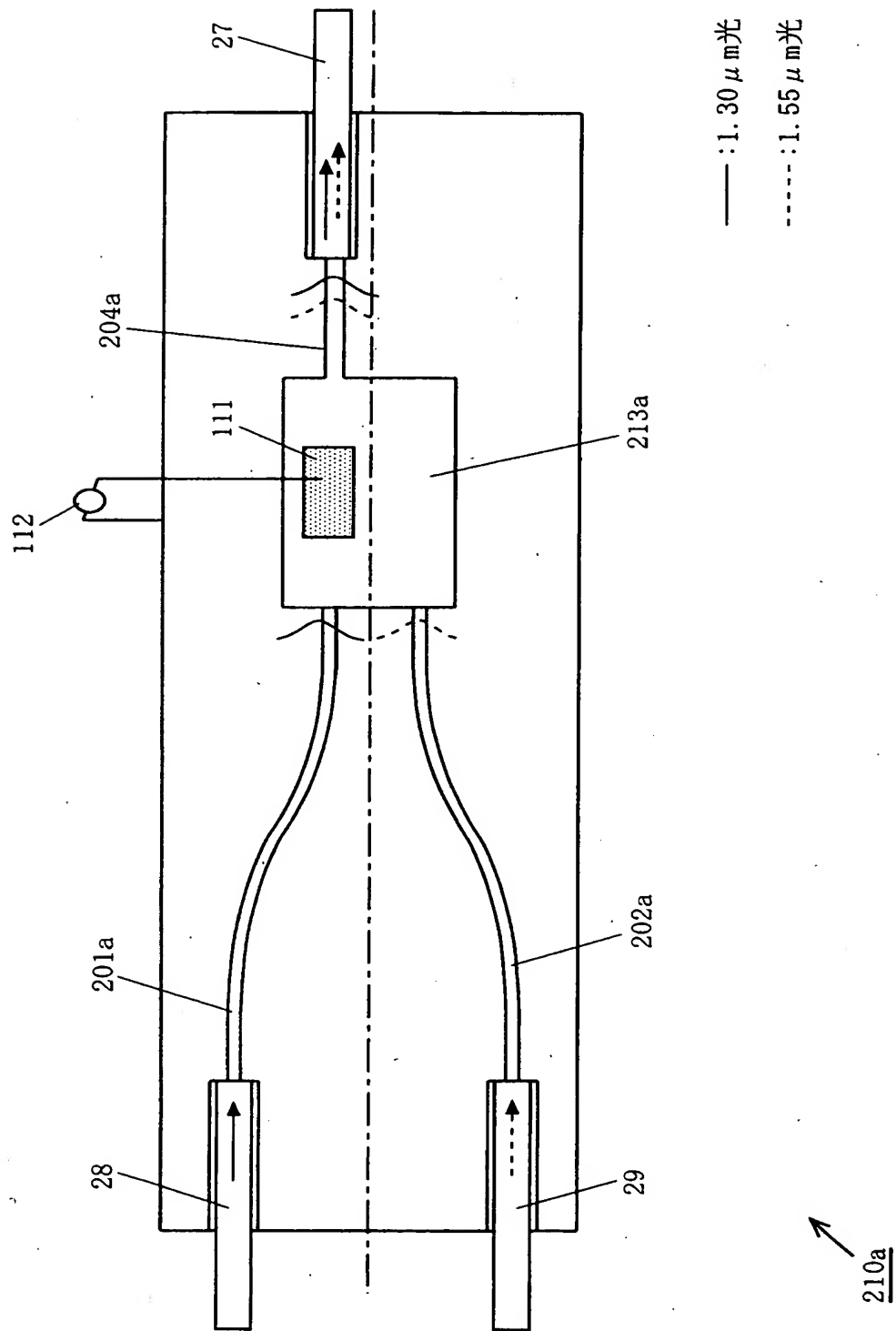


【図 20】

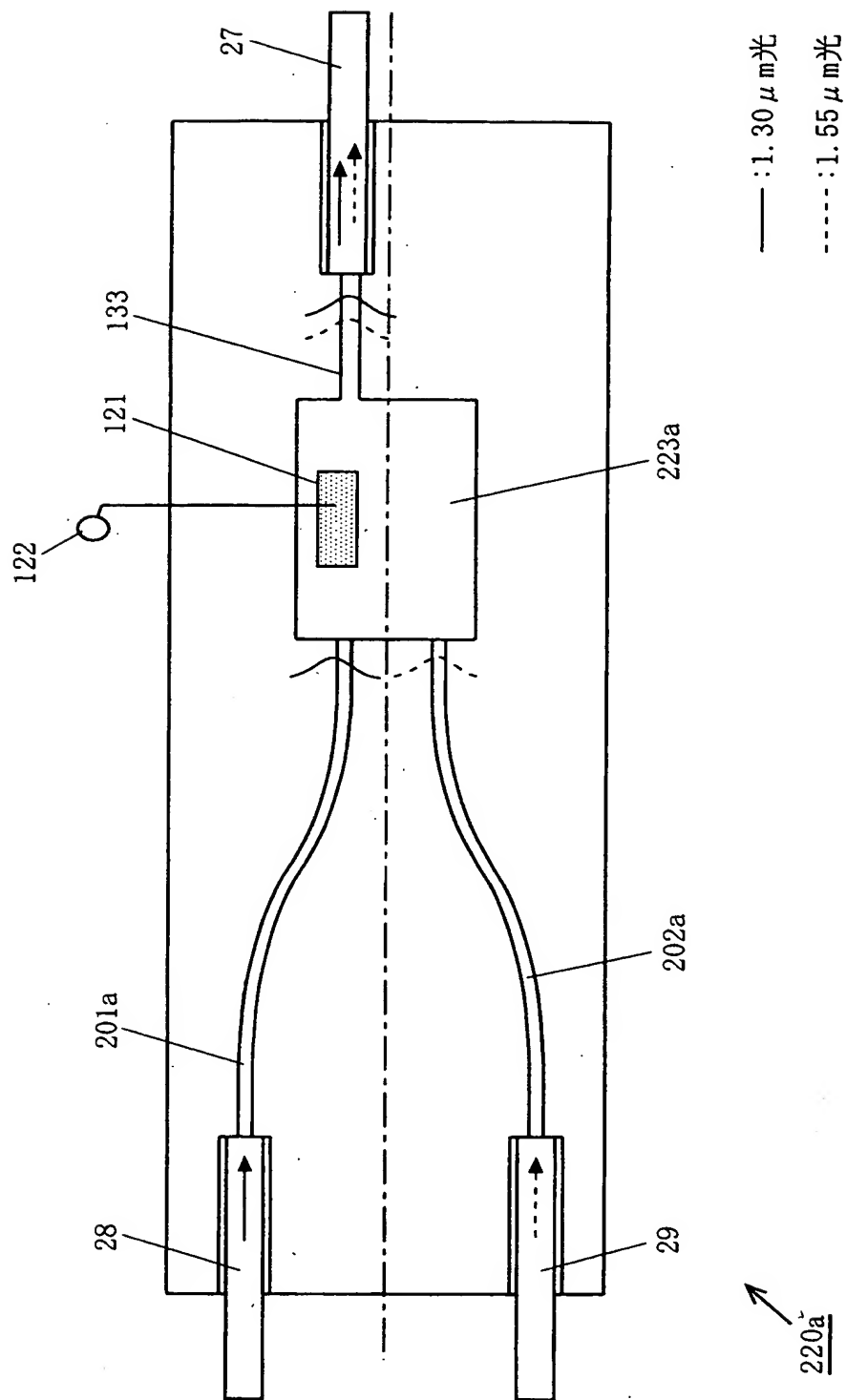


201f

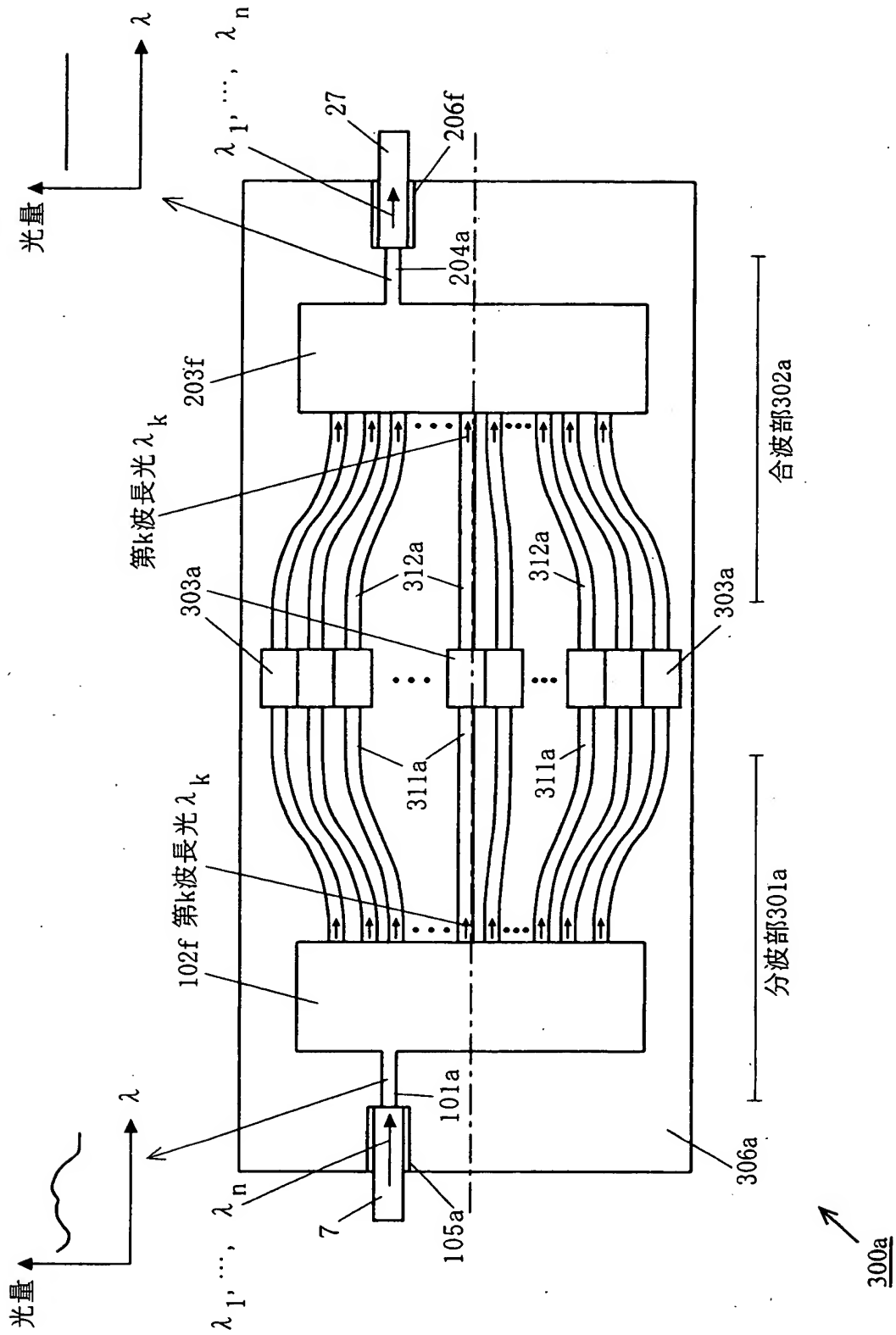
【図 2 1】



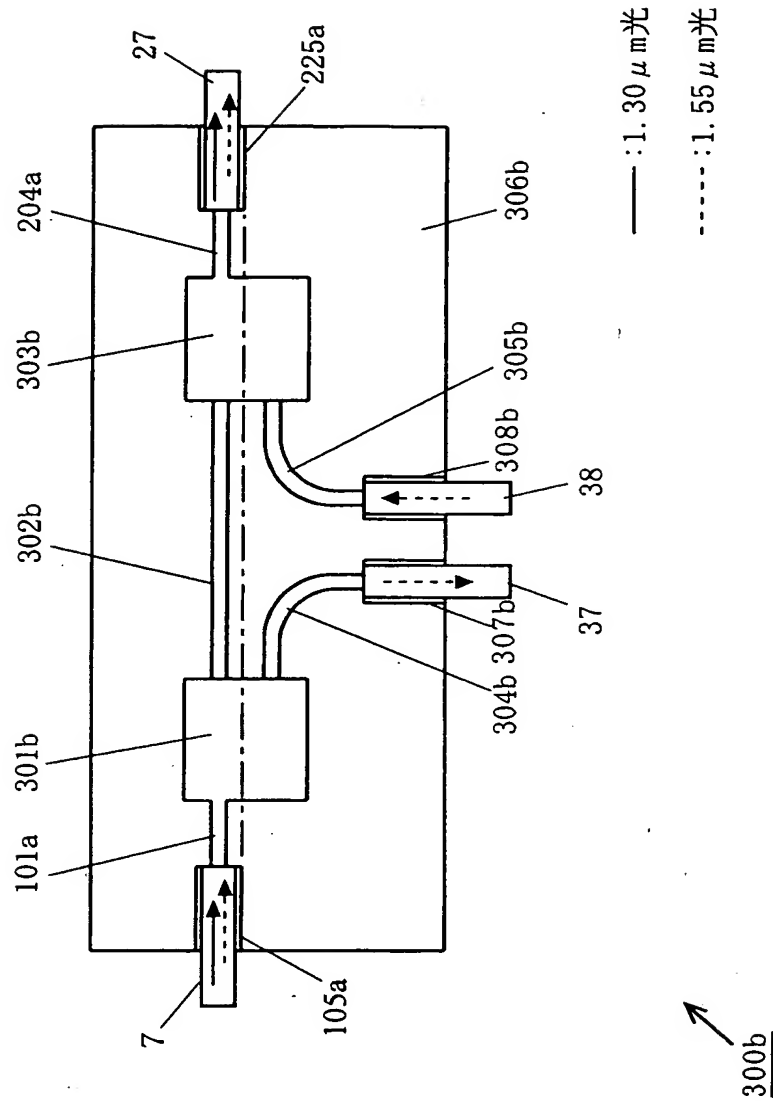
【図 2 2】



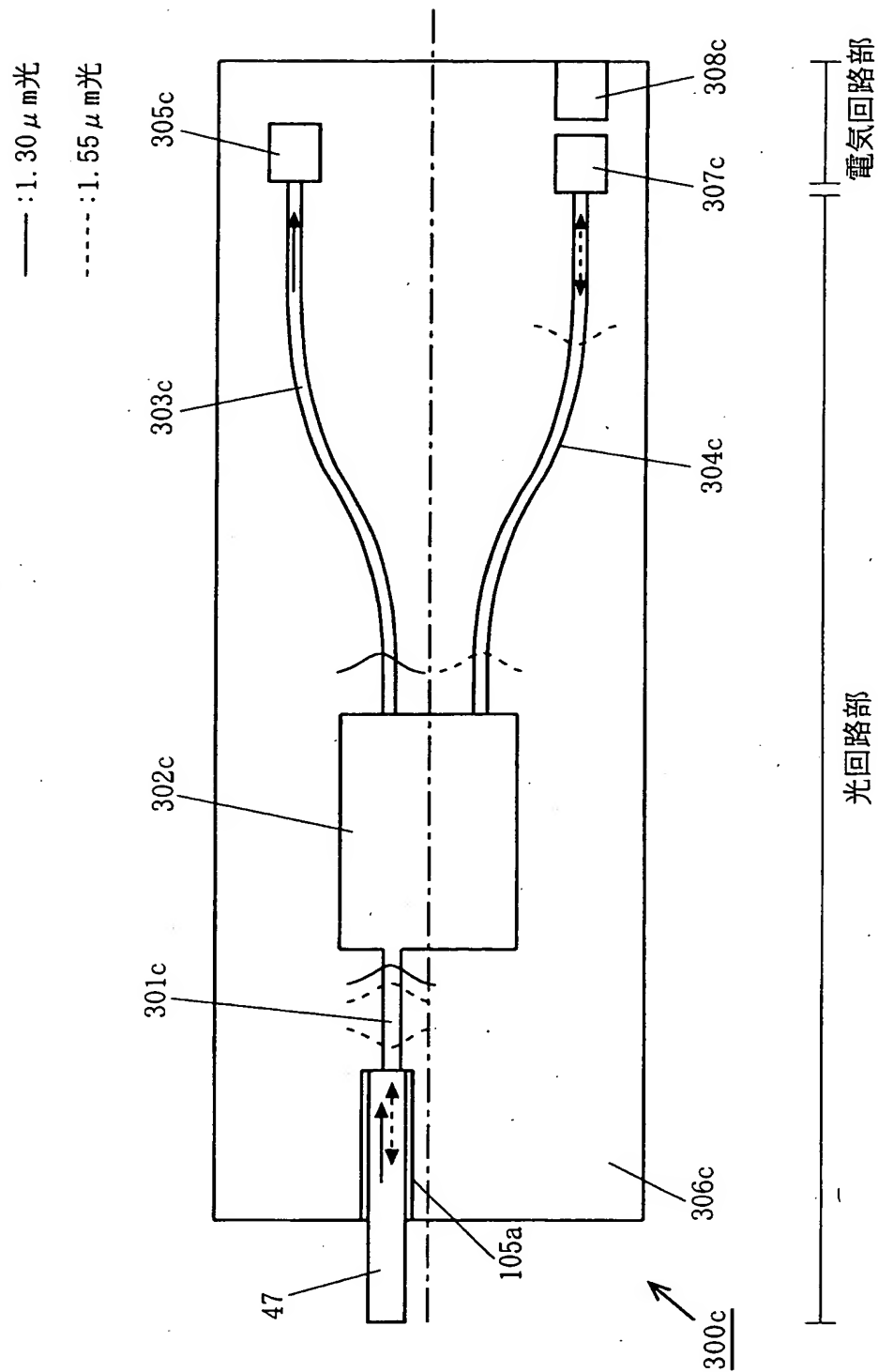
【図 23】



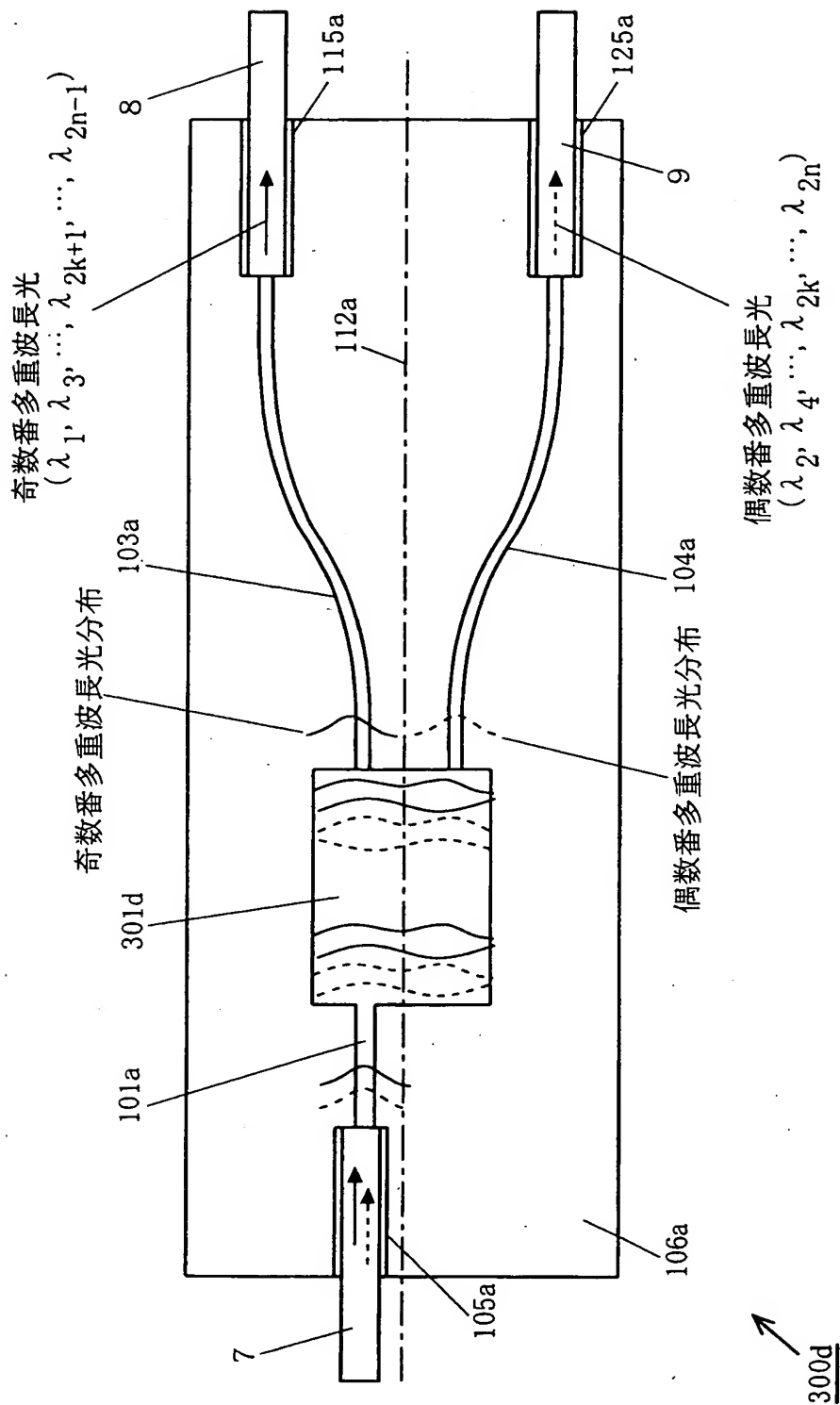
【 図 2 4 】



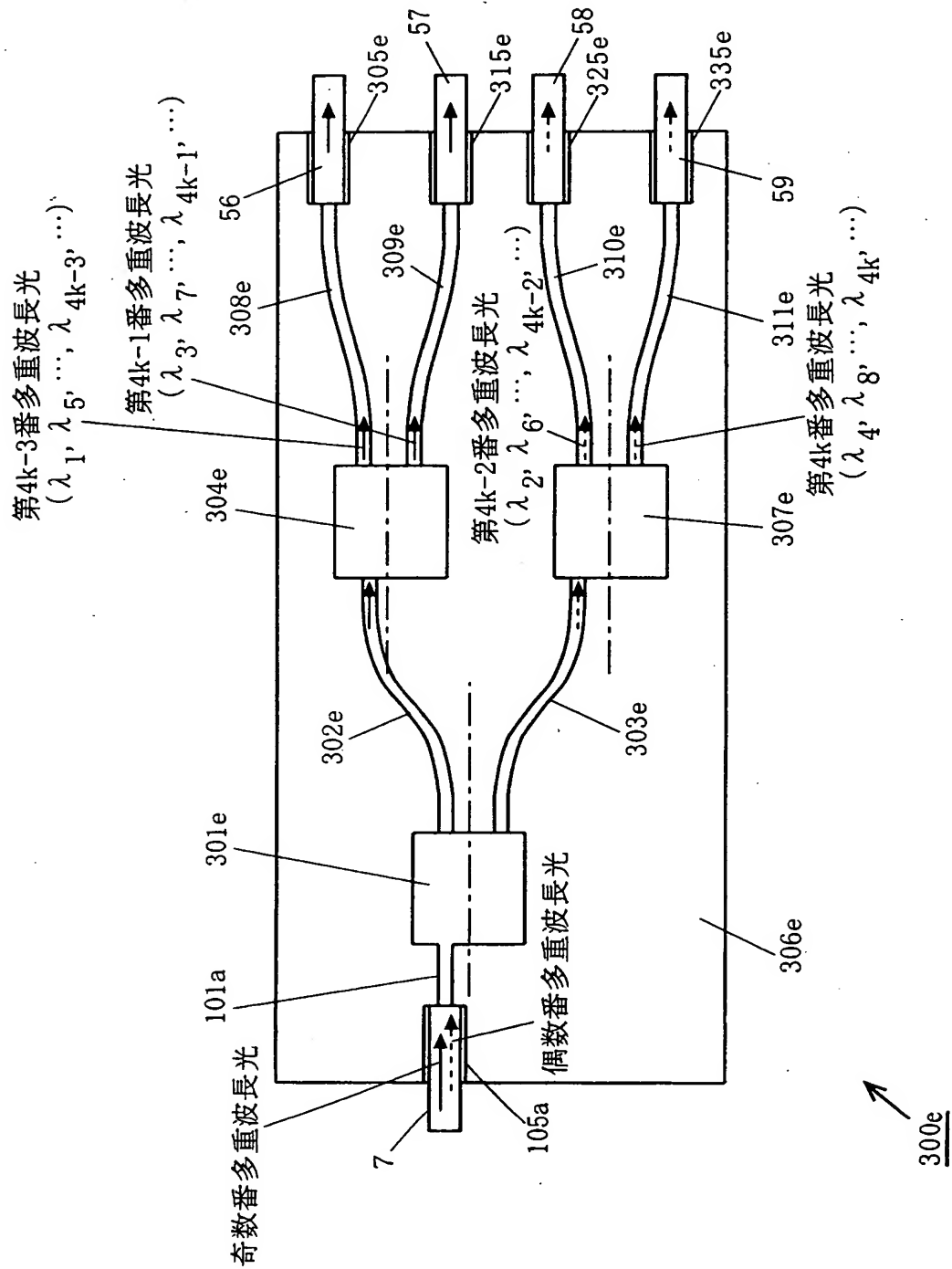
【図 2 5】



【図 26】



【図 27】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 性能を落とさず、低価格分波器・合波器を実現すること。

【解決手段】 波長の異なる第1波長の第0次モードと第1次モードの位相差と第2波長の第0次モードと第1次モードの位相差間の差が π の整数倍となる光路長を有するマルチモード伝播部と、前記マルチモード伝播部の入力側において前記マルチモード伝播部の中心線から軸ズレして光学的に結合した入力導波路と、前記マルチモード伝播部の出力側において異なる位置に光学的に結合した2個の出力導波路で構成される。

【選択図】 図1

特 2 0 0 2 - 3 4 8 6 6 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 3 4 8 6 6 1
受付番号	5 0 2 0 1 8 1 5 9 2 2
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 4 年 1 2 月 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年11月29日
-------	-------------

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名 松下電器産業株式会社